

Ministerio de Educación Superior  
Universidad de Oriente  
Facultad de Construcciones.

**Tesis en opción al título de  
Ingeniero Hidráulico.**

Título:

Propuesta de guía para la  
realización de una tarea técnica  
y el mantenimiento mayor  
a lagunas de estabilización.

Autor: Betsy González Sánchez

Tutores: MSc. Ing. Eudel Michel Rojas.

MSc. Prof. Onell Pérez  
Hernández

Santiago de Cuba

2021

## Pensamiento

**El tratamiento de los líquidos residuales de pequeñas comunidades e industrias en países en desarrollo es un problema que debe ser resuelto en forma económica, de fácil operación y resultados efectivos. Las lagunas de oxidación son una gran solución en muchas áreas en desarrollo, pero deberá seguirse investigando sobre las mismas a fin de conocer más sobre ellas, y alcanzar su óptima eficiencia.**

**Ing. Enrique Caparó González.**

## Dedicatoria

Dedico este trabajo de diploma a mis padres Yanexys Sánchez Hechavarria y Virgilio González Enamorado por apoyarme en cada etapa de mi vida y ayudarme en todo momento siempre guiándome por el camino correcto , a mi hermanito Beikel, a mis tíos en especial mi tío Bismark que aunque no está aquí junto a mí se sentirá orgulloso de mi ,mis abuelitos maternos y paternos que me dieron amor ,cariño y muchos consejos para lograr lo tanto anhelado ,a toda mi familia y amigos que me apoyaron de una forma u otra gracias.

# Agradecimientos

Le doy gracias a dios que logré convertirme en una profesional después de trascurrir 5 años de sacrificio, a mis padres en especial que su apoyo fue incondicional en este proceso a mis tutores Msc. Eudel Michel Rojas y Msc. Onell Pérez Hernández, a todos los profesores de la carrera que me ayudaron a mi aprendizaje, a toda mi familia, a mis amigos, a mi novio y su familia.

Muchas Gracias

## **Resumen**

La Empresa de Reparación y Mantenimiento a Obras Hidráulicas [EMROH], perteneciente a la Organización Superior de Dirección Empresarial, subordinada al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, tiene como misión entre otras el mantenimiento y reparación a plantas potabilizadoras de agua para el consumo, así como a lagunas de estabilización, de esta última dicha empresa carece de una guía donde se establezcan los lineamientos a cumplir en el proceso de ejecución de una tarea técnica y el mantenimiento mayor a estos sistemas de tratamiento, constituyendo esto el objetivo de esta investigación. El presente trabajo fue solicitado por la Dirección Técnica de la EMROH, el mismo servirá como herramienta de trabajo a directivos, técnicos y especialistas que se encargan del mantenimiento mayor a estas obras hidráulicas, contribuyendo así a la toma de decisiones oportunas a la hora de enfrentar trabajo de reparación y mantenimiento a este órgano de tratamiento. Los métodos utilizados partieron de un análisis teórico de las concepciones más actuales de la literatura internacional y nacional disponible. Para el desarrollo de la investigación se aplicaron técnicas de obtención de datos tales como observación directa, análisis de documentos y registros. Con la realización de la investigación se obtuvieron como principales resultados la elaboración del marco teórico referencial y la propuesta de un guía para la realización de una tarea técnica y el mantenimiento mayor a lagunas de estabilización.

**Palabras claves:** aguas residuales, tratamiento, operación, mantenimiento mayor, tarea técnica, laguna de estabilización.

## **Summary**

The Company overhauling and Mantenimiento to Hydraulic Workses EMROH, belonging to the Superior Organization of Entrepreneurial Management, subordinate to the National Institute of Hydraulic Resources, has like mission between other ones maintenance and repair to plants potabilizadoras of water for consumption, just like to lagoons of stabilization, of this last happiness the company lacks of a guide where the principal pointses to do one's job in the execution of judgment of a technical task and the bigger maintenance to these systems of treatment become established, constituting this the objective of this investigation. The present work was asked for by the Technical Management of the EMROH, the same it will serve like tool as work to executives, technicians and specialists that they take care of the bigger maintenance to these hydraulic workses, contributing that way to the decision making oportune at the time of confronting repair work and maintenance to this organ of treatment. The used methods departed from a theoretic analysis of the most present-day conceptions of the international literature and available national. Developmental of investigation they applied over themselves technical of data acquisition such like direct observation, documentary analysis and records. With the realization of investigation they obtained to lagoons of stabilization like main results the elaboration of the theoretic referential frame and the proposal of a guide for the realization of a technical task and the bigger maintenance.

**Passwords:** Sewage waters, treatment, operation, bigger maintenance, technical task, lagoon of stabilization.

Índice	
Introducción.....	1
Capítulo 1. Marco Teórico -Referencial de la Investigación.....	6
1.1 Aguas residuales.....	7
1.1.1 Clasificación de las aguas residuales.....	7
1.1.2 Importancia del tratamiento de las aguas residuales.....	8
1.1.3 Características de las aguas residuales urbanas.....	8
1.4. Composición del agua residual cruda.....	9
1.5. Contaminantes de mayor importancia en el tratamiento de las aguas residuales.....	9
1.5.1. Características que distinguen un agua residual en un momento determinado.....	10
1.6. Deterioro de la calidad de los recursos hídricos. Efectos de la polución.....	10
1.7. Caudales de aguas residuales y cargas contaminantes.....	11
1.8. Parámetros claves para determinar la eficiencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales.....	11
Capítulo 2. Capítulo 2: MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
2.1. Generalidades.....	15
2.2. Laguna de estabilización.....	17
2.2.2. Objetivo de la laguna de estabilización.....	18
2.2.3. Características típicas de las lagunas de estabilización.....	19
2.4. Desarrollo de las lagunas de estabilización en Cuba como sistema de tratamiento de residuales.....	19
2.4.1. Principios generales de funcionamiento de la laguna de estabilización.....	20

2.4.2. Tipos de lagunas de estabilización.....	22
2.5. Elementos que integran un sistema de lagunas de estabilización.....	25
2.6. Superficie de las lagunas.....	28
2.6.1. Diques, taludes y dispositivos de entrada y salida.....	28
2.6.2. Cercas y señales.....	30
2.7. Obras y elementos complementarios de las lagunas en Cuba.....	31
2.8. Operación y mantenimiento a lagunas de estabilización.....	32
2.8.1. Mantenimiento a lagunas de estabilización.....	37
2.9. Visión y alcance del mantenimiento.....	41
2.9.1. Problemas o acciones ingenieras más comunes.....	41
2.10. Preparación técnica de obra para el mantenimiento mayor.....	42
Capítulo 3: Discusión De Los resultados.....	43
3.1. Propuesta de guía para el mantenimiento mayor a lagunas de estabilización.....	43
3.1.1. Objetivo.....	43
3.1.2. Alcance.....	43
3.1.3. Responsabilidad y autoridades.....	43
3.2. Desarrollo.....	43
CONCLUSIONES.....	49
RECOMENDACIONES.....	50
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

## **Introducción**

El tratamiento de residuales de cualquier tipo es otro de los procesos hidráulicos que más atención y seguimiento debe prestársele, pues de su nivel de eficiencia depende la garantía de la calidad del afluente, pudiéndose evitar serias agresiones al hombre, a su entorno y al medioambiente en general, al realizarse su deposición final al manto subterráneo, a un río o al mar. Estos sistemas de tratamiento se hicieron imprescindibles según aumentaban no solo los volúmenes de las denominadas aguas negras, sino que se complejizaba su composición, ya que, a los iniciales residuales orgánicos domésticos, se fueron incorporando los provenientes de los procesos productivos y según avanzaba el desarrollo tecnológico, los mismos presentaban crecientes contenidos de productos químicos y biológicos por lo que el tipo de tratamiento final se fue y sigue complicándose cada vez más.

Los residuales finales son de hecho el sobrante más dañino de la digestión humana, social y tecnológica del hombre y por tal motivo es obligado su deposición en estado crudo, siendo necesario neutralizar sus serios esfuerzos negativos antes de su reincorporación a la tierra e inclusive el reutilizar esas aguas en gran medida ya recuperadas en otros usos también necesario al hombre. Por tal motivo estas obras se pueden definir como las obras hidráulicas diseñadas para el tratamiento final de determinados volúmenes de residuales líquidos a partir de una estudiada caracterización de las aguas y el establecimiento de un acelerado proceso de depuración, que permite disminuir el grado de carga contaminante a límites asimilables por el hombre y su entorno, siendo indispensable para que pueda cumplir su misión de una operación estable y eficiente. En todos estos sistemas la presencia adicional de sólidos, grasas, ácidos etc, en suspensión, complican los procesos del tratamiento, por lo que se les fue adicionando pasos lógicos secuenciales para ir eliminando al menor costo lo más simple primero, dejando las sustancias y elementos más agresivos para el final.

Cuba se considera dentro de los primeros países de Latinoamérica y el Caribe en adoptar y construir lagunas de estabilización, como tratamiento de residuales domésticos, en primer lugar, a lo que siguió su aplicación en el tratamiento de residuales pecuarios, azucareros y de la industria alimentaria,

en general. Ello respondió a la preocupación del gobierno cubano y de las instituciones especializadas, desde los años iniciales del triunfo de la Revolución, por proteger la calidad de las aguas terrestres, en el contexto del desarrollo económico y social que experimentó el país. La mayoría de estas lagunas son del tipo facultativas primarias y son empleadas principalmente para tratar aguas residuales de origen doméstico que tratan caudales en un rango de unos 5 L/s- 20 L/s y su elección se fundamenta en las ventajas que presentan frente a otros sistemas de tratamiento en relación al costo de inversión, de operación y mantenimiento. La Empresa de Reparación y Mantenimiento a Obras Hidráulica [EMROH], dentro de su objeto social, se encarga del mantenimiento mayor a estos sistemas de tratamiento por lo que se hace necesario proponer una guía que tenga en cuenta la realización de una tarea técnica y el mantenimiento mayor a lagunas de estabilización que sirva como herramienta de trabajo a especialistas y personal técnico que atienden el mantenimiento de estas obras hidráulicas.

**Situación problémica.**

La no existencia en la “Empresa de Mantenimiento y Reparación a Obras Hidráulicas”, de una guía para la realización de una tarea técnica y el mantenimiento mayor a lagunas de estabilización.

**Problema a resolver.**

La elaboración de una guía para la realización de una tarea técnica y el mantenimiento mayor a lagunas de estabilización.

**Objeto de investigación.**

Las lagunas de estabilización.

**Objetivo general.**

Elaborar la propuesta de una guía que establezca los lineamientos a seguir para la elaboración de una tarea técnica para el proceso de ejecución del mantenimiento mayor a laguna de estabilización.

**Campo de acción.**

El mantenimiento a lagunas de estabilización.

### **Objetivos específicos.**

Para lograr mejores resultados del objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos.

1. Construir el marco teórico – referencial de la investigación, a partir de la consulta de la literatura científica nacional e internacional más actualizada sobre la temática de estudio.
2. Elaborar la propuesta de una guía que establezcan los lineamientos a seguir para la elaboración de una tarea técnica y el mantenimiento mayor para el tema objeto de estudio.
3. Garantizar el documento final en forma de trabajo de diploma.

### **Hipótesis.**

Para dar solución al problema científico antes expuesto, se plantea la hipótesis siguiente.

Si se elabora una guía donde se establezcan los lineamientos a seguir para la elaboración de una tarea técnica y el mantenimiento mayor a laguna de estabilización, la misma serviría como herramienta de trabajo a especialistas, técnicos y directivos que atienden el mantenimiento en la “Empresa de Mantenimiento y Reparación a Obras Hidráulicas”, contribuyendo así a la toma de decisiones para acometer esta labor.

### **Tareas a desarrollar.**

1. Elaboración del diseño de investigación.
2. Búsqueda, revisión y procesamiento de la literatura científico -técnica.
3. Análisis de los resultados.
4. Elaboración de conclusiones y recomendaciones.
5. Presentación y defensa del trabajo del trabajo final.

### **Términos y conceptos.**

**Aguas residuales:** desecho líquido constituido por aguas domésticas e industriales y aguas de infiltración.

**Aguas domésticas:** desecho líquido resultante de los hábitos higiénicos del hombre en actividades domésticas.

**Bacterias:** organismos que existen con sólo una célula. Las bacterias que viven en las lagunas de estabilización, comen la carga orgánica para su alimentación. En una laguna de estabilización, existen diferentes tipos de bacterias. Algunas necesitan oxígeno para vivir, otros no pueden existir con oxígeno disuelto en el agua, los últimos viven en la laguna anaeróbica. Existe un tercer grupo que puede vivir con oxígeno, pero son tan flexibles que también sobreviven sin oxígeno.

**Biodegradación:** reducción de sustancia por organismos biológicos.

**Caudal:** volumen de agua que llega a la planta [afluente] o sale de la planta [efluente]. Generalmente, el caudal del efluente es menor por la evaporación. Su unidad es L/s o m<sup>3</sup>/s, pero también m<sup>3</sup>/hr.

**Contaminación:** acción y efecto de añadir al agua materias o formas de energía, o inducirle condiciones que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en su relación con los usos posteriores o su función ecológica.

**Coliformes termoresistentes [Coliformes fecales]:** bacterias que generalmente viven en el intestino humano y son inofensivos. Son usados para indicar la contaminación humana-fecal en el agua. La presencia de coliformes termoresistentes puede apuntar otras contaminaciones humanas. Su unidad con respecto al agua residual es NMP/1000ml. Frecuentemente se usa también el nombre “Coliformes fecales”, aunque no es el término correcto, es muy común.

**Cuerpo receptor:** todo cuerpo de agua [río, arroyo, lago, embalse, acuífero] que recibe directa o indirectamente la descarga o efectos contaminantes producto del vertido de aguas residuales.

**Descarga o vertido:** es la acción de descargar o verter aguas residuales a los sistemas de alcantarillado o a cuerpos receptores.

**Demanda química de oxígeno [DQO]:** la demanda química de oxígeno [DQO] proporciona la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica e inorgánica presente en una muestra del residual, utilizando un agente oxidante fuerte. El concepto de DQO incluye no solo la oxidabilidad de la materia orgánica presente en un residual, sino la de todas las formas oxidables, por lo

cual no se puede considerar esta técnica como un estimador exacto de la materia orgánica.

**Demanda bioquímica de oxígeno [DBO<sub>5</sub>]:** cuando se vierte un residual en un cuerpo de agua receptor, la materia orgánica contenida en el mismo sirve de sustrato a los microorganismos de ese hábitat. De esta manera los microorganismos consumirán la materia degradable biológicamente. De aquí que, hace ya muchos años, surgiera la idea de evaluar el poder contaminante de un residual mediante la determinación de la cantidad de oxígeno necesario para la determinación [oxidación] biológica de la materia orgánica presente en el mismo. Este concepto se conoce con el nombre de DBO. Desde este punto de vista, mientras mayores sean los requerimientos de oxígeno de un residual, mayor será su poder contaminante.

**Efluente:** el agua tratada y purificada que sale de la laguna de estabilización al cuerpo receptor. Aunque es tratada, todavía tiene un potencial de infecciones, por lo tanto, se sugiere usar guantes desechables y ropa de trabajo cuando se tiene contacto con el efluente.

**Helminetos:** gusanos parasíticos que producen enfermedades o daños a la biología de humanos. Con respecto al tratamiento de agua residual, es imprescindible eliminar sus huevos. El contacto con un huevo de estos es suficiente para infectarse.

**Muestra instantánea:** tipo de muestra que se toma sobre un efluente tomando un volumen dado de agua residual para su posterior análisis en el laboratorio. El muestreo debe llevarse a cabo en días representativos del proceso generador de la descarga.

**Parámetro:** variable que se aplica como referencia para indicar la calidad del agua.

**Tratamiento:** es la depuración o descontaminación hasta límites aceptables del agua sobre la base de procesos físicos, químicos y biológicos.

## Capítulo 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN.

### **1. Introducción.**

El tratamiento de aguas residuales de cualquier tipo es otro de los procesos hidráulicos que más atención y seguimiento debe prestársele, pues de su nivel de eficiencia depende la garantía de la calidad del efluente, pudiéndose serias agresiones al hombre, a su entorno y al medioambiente en general, al realizarse su deposición final al manto subterráneo, a un río o al mar. Estos sistemas de tratamiento se hicieron imprescindibles según aumentaban no solo los volúmenes de las llamadas aguas negras, sino que se complejizaba su composición, ya que, a los iniciales residuales orgánicos domésticos, se fueron incorporando los provenientes de los procesos productivos, y según avanzaba el desarrollo tecnológico, los mismos presentaban crecientes contenidos de productos químicos y biológicos, por lo que tipo de tratamiento final se fue y sigue complicándose cada vez más.

Los residuales finales son de hecho el sobrante más dañino de la digestión humana, social y tecnológica del hombre y por tal motivo es obligado y se impone evitar su deposición en estado crudo, siendo necesario neutralizar sus serios efectos negativos antes de su reincorporación a la tierra e, inclusive, el reutilizar esas aguas –en gran medida ya recuperada –en otros usos también necesarios al hombre [Iglesias 2015].

Por tal motivo estas obras se pueden definir como las “obras hidráulicas diseñadas para el tratamiento final de determinados volúmenes de residuales líquidos a partir de una estudiada caracterización de las aguas y el establecimiento de un acelerado proceso de depuración, que permite disminuir el grado de carga contaminante a límites asimilables por hombre y su entorno, siendo indispensable para que pueda cumplir con su misión de una operación estable y eficiente”. En todos estos sistemas, la presencia adicional de sólidos, grasas, ácidos, etc., en suspensión, complican los procesos del tratamiento, por lo que se les fue adicionando pasos lógicos secuenciales para ir eliminando, al menor costo, lo más simple primero, dejando las sustancias y elementos más agresivos para el final [Iglesias 2015].

## **1.1. Aguas residuales.**

Las aguas cuya calidad original se ha degradado, en alguna medida, como consecuencia de su utilización en diferentes acciones y procesos, se denomina aguas residuales, las mismas son el resultado de la utilización del agua para distintos fines que, como consecuencia, recoge materias que alteran sus propiedades. Dependiendo del tipo de utilización, las aguas residuales presentan características muy diferentes, cualquiera que sea su procedencia, las aguas residuales plantean una amenaza para el medio ambiente, ya que se modifican las características iniciales del medio natural donde se produce su descarga.

### **1.1.1. Clasificación de las aguas residuales.**

Las aguas residuales se clasifican como:

Domésticas.

Industriales.

Pluviales.

Los focos principales de la contaminación del agua doméstica son los procesos de limpieza [baños, lavamanos, lavadora, etc.], y el agua proveniente de los inodoros. Estas actividades provocan una contaminación de tipo físico, químico y biológico que está compuesto en un 99.99% de agua y un 0.01% del producto de las heces fecales, orina, restos de comida, detergentes, grasas, fibras.

Las aguas procedentes del escurrimiento de las lluvias son las aguas pluviales mientras que las industriales proceden de efluentes de las empresas industriales.

### **1.1.2. Importancia del tratamiento de las aguas residuales.**

Toda comunidad genera residuos tanto sólidos como líquidos. La fracción líquida de los mismos “- aguas residuales -“es esencialmente el agua que se desprende de las comunidades una vez ha sido contaminada durante los diferentes usos para los cuales ha sido empleada. Desde el punto de vista de las fuentes de generación, podemos definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y

establecimientos industriales y comerciales, a las que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales. Si se permite la acumulación y estancamiento de las aguas residuales, la descomposición de la materia orgánica que esta contiene puede conducir a la generación de grandes cantidades de gases malolientes.

A este hecho cabe añadir la presencia en el agua residual bruta, de numerosos microorganismos patógenos y causantes de enfermedades que habitan en el aparato intestinal humano o que pueden estar presentes en ciertos residuos industriales. También suelen contener nutrientes, que pueden estimular el crecimiento de plantas acuáticas y pueden incluir compuestos tóxicos. Es por todo ello que la evacuación inmediata y sin molestias del agua residual y sus fuentes de generación, seguida de su tratamiento y eliminación, es no solo deseable sino también necesaria en toda la sociedad industrializada.

La Ingeniería Sanitaria, es la rama que aplica los principios básicos de la ciencia y la ingeniería a los problemas de control de las aguas contaminadas. Cuyo objetivo final “- gestión del agua residual –“es la protección del medio ambiente empleando medios conformes a las posibilidades económicas, sociales y políticas.

### **1.1.3. Características de las aguas residuales urbanas.**

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica; muchas de las cuales se relacionan entre sí.

+ Características físicas: color, olor, sólidos, temperatura.

+ Características químicas:

- Constituyentes orgánicos: carbohidratos, grasas, pesticidas, fenoles, proteínas, contaminantes prioritarios, tensoactivos, orgánicos volátiles.
- Constituyentes inorgánicos: cloruros, metales pesados, nitrógeno, pH, fósforo, azufreoxígeno, metano, sulfuro de hidrógeno.

+ Características biológicas: animales, plantas, protistas, virus.

#### **1.4. Composición del agua residual cruda.**

Aunque el agua residual cruda parece bastante contaminada, contiene 99,9% de agua. La materia sólida mantenida está constituida por 70% de sustancias orgánicas, como proteínas, grasas y carbohidratos; mientras que el 30% es materia mineral insoluble e inorgánica, como arena, arcilla y gravas. En general, no es complicado evaluar la composición del agua residual en cuanto a la concentración causada por heces fecales y orina. Eso es porque todos los seres humanos emiten cada día carga orgánica, fósforo y nitrógeno. Entonces, si se sabe cuánta gente está conectada al alcantarillado, y a la vez, la cantidad de agua potable consumida por persona y día, se puede calcular fácilmente la concentración. [SENASBA 2015].

#### **1.5. Contaminantes de mayor importancia en el tratamiento de las aguas residuales.**

Los contaminantes de mayor importancia en el tratamiento de las aguas residuales son los que se relacionan a continuación.

- ✚ Sólidos en suspensión, los cuales dan lugar al desarrollo de depósitos de fangos y de condiciones anaerobias.
- ✚ Materia orgánica biodegradable: compuesta principalmente por proteína, carbohidratos, grasas; la cual se mide en la mayoría de los casos en función de la DBO y la DQO. Puede traer consigo el agotamiento del oxígeno disuelto y de condiciones sépticas.
- ✚ Patógenos, pueden transmitir enfermedades contagiosas.
- ✚ Nutrientes, nitrógeno y fósforo. Favorecen el crecimiento de una vida acuática no deseada, puede provocar la contaminación del agua subterránea cuando se vierten al suelo.
- ✚ Materia orgánica refractaria, esta tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento y están constituidos por tensoactivos, fenoles, pesticidas agrícolas.
- ✚ Metales pesados, puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.

### **1.5.1. Características que distinguen un agua residual en un momento determinado.**

Las características que distinguen un agua residual en un momento determinado son las siguientes.

- ✚ Composición: depende de las materias que contiene en el momento estudiado.
- ✚ Concentración: proporción en que la materia sólida del albañal se encuentra diluida en el agua lo cual determina su concentración. Atendiendo a esto, se agrupan en residual fuerte, medio y débil.
- ✚ Concentración: proporción en que la materia sólida del albañal se encuentra diluida en el agua lo cual determina su concentración. Atendiendo a esto, se agrupan en residual fuerte, medio y débil.

### **1.6. Deterioro de la calidad de los recursos hídricos. Efectos de la polución.**

El vertimiento indiscriminado de aguas residuales sin tratar, es uno de los principales problemas que afecta el deterioro de los recursos hídricos, desmejorando considerablemente la calidad de las aguas de abasto y afectando el medio ambiente.

Entre los efectos que producen las aguas residuales que se vierten a cuerpos de agua, se pueden mencionar:

- ✚ Disminución de la concentración del oxígeno disuelto, comprometiendo la vida acuática.
- ✚ Variaciones del pH.
- ✚ Incremento de riesgo por incendios o explosiones.
- ✚ Incremento de la temperatura [residuales calientes], a mayor temperatura disminuye el oxígeno disuelto.
- ✚ Corrosión acelerada del alcantarillado.
- ✚ Modificación de las propiedades organolépticas de las aguas naturales.
- ✚ Disminución de la disponibilidad de agua limpia para consumo humano.
- ✚ Complicación de la tecnología para potabilizar el agua.
- ✚ Desaparición de especies vivas.
- ✚ Eutrofización.

### **1.7. Caudales de aguas residuales y cargas contaminantes.**

La determinación de los caudales de aguas residuales es fundamental a la hora de proyectar las instalaciones de tratamiento para obtener un buen diseño con el mínimo de costos. En los casos en que no es posible medir directamente los caudales de aguas residuales y no se dispone de series históricas de las mismas, los datos sobre el abastecimiento de agua a la comunidad pueden resultar de gran ayuda para estimar los caudales de aguas residuales.

En aquellos casos en que se disponga de los datos de caudales en las estaciones de bombeo y plantas de tratamiento, se deben analizar los caudales de, como mínimo, los dos últimos años. Mediante el análisis de los datos pueden obtenerse parámetros importantes como:

- ✚ Caudal medio diario
- ✚ Caudal máximo diario
- ✚ Caudal punta horario
- ✚ Caudal mínimo diario
- ✚ Caudal mínimo horario

La capacidad de una planta de tratamiento suele calcularse para el caudal medio diario. No obstante, por razones prácticas las plantas deben ser proyectadas teniendo en cuenta que deben hacer frente a condiciones de trabajo que viene dictadas por los caudales, las características de las aguas residuales y la combinación de ambos [carga contaminante]. También deben considerarse las situaciones de caudales y cargas contaminantes puntas para los diferentes procesos y las interconexiones entre ellos.

El factor punta se obtiene a partir de la relación entre la caudal punta y el caudal medio diario. Por otra parte, la determinación de las cargas contaminantes de proyecto implica la determinación de:

- ✚ Variaciones de las concentraciones de los constituyentes del agua residual
- ✚ Análisis de las cargas contaminantes.
- ✚ Efecto de la presencia de compuestos tóxicos.

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

- ✚ Carga hidráulica: que no es más que la velocidad de paso de un volumen de agua en una unidad de área o superficie de contacto [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. d].
- ✚ Carga orgánica: se expresa por los pesos de las impurezas removidas en un período de tiempo relacionada con el volumen o superficie de contacto. Las impurezas más utilizadas son la DBO y los Sólidos Suspendidos [SS] (Kg. DBO/m<sup>3</sup>. d) [Kg. DBO/m<sup>2</sup>. d].

### **1.8. Parámetros claves para determinar la eficiencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales.**

A continuación, se explica el significado de los parámetros importantes que se miden para calificar el efluente, que son referentes al agua tratada que sale de la laguna de estabilización.

#### **PH.**

El pH es una medida de acidez o alcalinidad, que no tiene una unidad de medición. Sólo se habla del valor de pH que puede estar entre 1 y 14. El rango de 1 a 6 es ácido y de 8 a 14 es alcalino. Por ejemplo: el pH de un jabón se encuentra entre 8 y 10, y el zumo de un limón o naranja tiene más o menos un pH de 2.5 a 3. El agua potable tiene un valor aproximado de 7, lo que significa que es neutral. El agua residual tiene otros valores. En general, el afluente, y también el efluente, están en un rango de 6,5 a 9. Fuera de este rango existe el riesgo que los procesos de una laguna de estabilización, no funcionen bien. Además, si el pH está por debajo de 6,5 se corre el riesgo que se destruya el acero del hormigón. [SENASBA 2015].

Los valores fuera del rango normal son muchas veces causados por descargas de la industria y del comercio. Si existieran frecuentemente valores fuera del rango normal, es importante tomar medidas de prevención antes que la laguna se dañe permanentemente. En caso que sea así, se recomienda hablar

directamente con los usuarios de la industria y del comercio para poner solución al problema. También es fundamental medir la temperatura del agua, ya que ésta influye en el valor del pH.

### **Temperatura.**

La temperatura tiene una influencia en todas las reacciones que suceden en una laguna de estabilización puesto que una temperatura más alta influye positivamente en las tasas de la biodegradación. Por lo tanto, un cambio en el clima puede causar una caída en la eficiencia de la laguna. Para tener buen conocimiento de las reacciones que suceden en una laguna de estabilización, es importante medir regularmente [cada quince días] la temperatura media.

### **Coliformes fecales o coliformes termoresistentes.**

Los coliformes fecales son un grupo de bacterias que indican la contaminación fecal del agua. Una unidad de medición que determine la cantidad de coliformes fecales es el NMP/100 ml, [Número Más Probable en un volumen de 100 mililitros]. El NMP se refiere a un método microbiológico con el que se puede estimar la densidad de la población de este grupo de bacterias. Como es un método estadístico, se interpretan los resultados en órdenes de magnitud [por ejemplo:  $5 \times 10^3$ ] y no de unidad [por ejemplo: 5750]. Por ejemplo, 4.000 es el doble de 2.000, pero como el NMP/100 ml es un cálculo estadístico, sólo se estima la cantidad de los Coliformes fecales, que no resulta ser un dato exacto.

En este caso, se utiliza la magnitud  $2 \times 10^3$  que es 2.000, por eso 4.000 que representa  $4 \times 10^3$ , tiene la misma magnitud. Esto significa que los dos valores son similares, ya que la magnitud es lo más importante. El afluente de una PTAR muchas veces se encuentra en un rango de  $10^6$  a  $10^9$  NMP/100 ml, eso significa entre 1.000.000 a 1.000.000.000 Coliformes fecales en 100 mililitros.

Referente al efluente de una laguna de estabilización, existe el valor límite de 103 NMP/100 ml, que son 1.000 Coliformes fecales por 100 mililitros.

### **DBO5. [Cantidad de oxígeno consumida por la materia orgánica en el agua en un período de 5 días a 20 C].**

La DBO5 indica la carga orgánica contenida en el agua, que puede ser oxigenada por medios biológicos durante 5 días. Entonces, es un parámetro

indirecto que indica cuánta materia orgánica está dentro del agua. Es fundamental controlar regularmente el DBO5 del efluente, para saber qué cantidad sale de la laguna de estabilización. Se mide este parámetro en la concentración de miligramos por litro [mg/L].

**DQO. [Cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia contenida en el agua con oxidante químico].**

La DQO muestra la carga contenida en el agua, que puede ser oxigenada por medios químicos. La DQO siempre es más alta que la DBO5, ya que el DQO contiene el DBO5.

**Sólidos suspendidos totales [SST].**

Los sólidos suspendidos en el agua son las partículas que pueden causar la turbiedad o el color. Se las mide con una filtración del agua, después se seca el filtro usado y se pesa para ver cuántos miligramos de sólidos fueron retenidos por el mismo. El resultado se mide por mg de sólidos suspendidos por litro filtrado [mg/L]. Las partículas pueden ser acumulaciones de bacterias, lodo y algas. Por ejemplo, en una laguna, muchas veces el efluente es de color verde por las algas. En este caso, pueden causar valores altos en el parámetro de sólidos suspendidos.

Estos seis parámetros son básicos, es decir claves, para definir la eficiencia de una de lagunas de estabilización, y tienen que ser determinados cuando se saca una muestra del afluente y del efluente.

## Capítulo 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

En el presente capítulo, se abordará de forma clara los aspectos y criterios más importantes sobre las lagunas de estabilización. En el mismo, se tratarán temas relacionados con el concepto de laguna de estabilización, los diferentes tipos lagunas de estabilización, criterios de diseño, órganos que intervienen en su buen funcionamiento, así como aspectos de la operación y el mantenimiento.

### **2.1. Generalidades.**

Lo que hoy conocemos propiamente como lagunas de estabilización de aguas residuales, tuvo su origen primario en la observación empírica del resultado de los procesos que ocurrían cuando las aguas residuales, en particular las domésticas, se almacenaban de forma no dirigidas ni controlada en “embalses” o similares para su riego agrícola, según la topografía del terreno, trayendo aparejado mejoras en su calidad, dependiendo del tiempo de almacenamiento, características del lugar, temperatura, precipitaciones y otros muchos factores. Esto dio inicio a su estudio como un posible tratamiento de depuración de aguas residuales.

La primera construcción registrada de un sistema de depuración mediante lagunas de estabilización se ejecutó en el Lago Mitchell en San Francisco, Texas, en 1901. Por otra parte se acepta por muchos investigadores que la primera laguna de estabilización dedicada al tratamiento de agua residuales de origen doméstico mediante un diseño ingeniero definido, se construyó y estudio en 1948 en Dakota del Norte, EE.UU.

Sobre la base de los estudios e investigaciones realizadas en las décadas de los años 1940 y 1950 del siglo XX, se comenzaron a desarrollar criterios fundamentados de su diseño, que permitieron una concepción y construcción racional de las lagunas de estabilización. Hoy en día en la literatura internacional, se cuenta con un gran volumen de información publicadas sobre el tema. El uso de las lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales en la región de América Latina y el Caribe se inicia a finales de la década de 1950 y se ha incrementado de manera acelerada hasta nuestros días. Se reporta en un estudio del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria [CEPIS] para América Latina y el Caribe, con datos de 1971, un

numero de 181 lagunas en 20 países, con Cuba ocupando la segunda posición de un total de 24. En 1976 ya existían un total de 499 y Cuba ocupando el primer lugar en la región con 350, en la tabla 1 se recogen datos e informaciones sobre su desarrollo inicial.

**Tabla 1.** Censos de lagunas 1971-1976 en Latinoamérica y el Caribe. Fuente [Yáñez, Fabián 1976].

<b>Encuesta 1971</b>	<b>No Lagunas</b>	<b>Encuesta presente [datos preliminares]</b>	<b>No Lagunas</b>
<b>País</b>		<b>País</b>	
Brasil	30	Cuba	350
Cuba	24	Brasil	48
Argentina	23	México	25
Perú	21	Argentina	23
México	14	Perú	19
Ecuador	11	Venezuela	7
Costa Rica	1	Costa Rica	5
Chile	9	Panamá	5
Colombia	7	Chile	3
Venezuela	7	Colombia	3
El Salvador	5	Ecuador	3
Guatemala	4	El Salvador	3
Trinidad y Tobago	4	Bolivia	1
Nicaragua	3	Honduras	1
Panamá	3	República Dominicana	1
Barbados	2	Trinidad y Tobago	1
Bolivia	1	Uruguay	1
Honduras	1		
República Dominicana	1		
Uruguay	1		
<b>Total</b>	<b>181</b>		<b>499</b>

Aun teniendo en cuenta posibles incongruencias y forma de captar la información de las encuestas, se puede ver el desarrollo de Cuba en la construcción de sistemas de lagunas de estabilización a partir de 1971 hasta 1976.

## **2.2. Laguna de estabilización.**

El tratamiento de las aguas servidas por medio de lagunas de estabilización [ver figura 2], parte del supuesto que el abatimiento de la carga orgánica y de los patógenos presentes se logra por la acción de microorganismos que utilizan el oxígeno transferido en forma natural desde la atmósfera y el generado por las algas presentes en la laguna.



**Figura 2.** Ejemplo de una laguna de estabilización. Fuente [SENASBA 2015].

Los microorganismos transforman la materia orgánica en compuestos mineralizados y la eliminación de patógenos se logra por decaimiento, competencia, cambio de temperatura, pH, radiación solar y otros factores. El lodo que se precipita en el fondo de la laguna sufre un proceso natural de digestión y estabilización anaeróbicos. Como estructura consiste en una excavación de poca profundidad y gran área con dispositivos de entrada y salida, generalmente con flujo continuo y un tiempo de retención de varios días. Embalsa agua a poca profundidad [entre 1-5m], y con periodos de retención de magnitud considerables [de uno a sesenta días].

Cuando las aguas residuales son descargadas en lagunas de estabilización se realiza en las mismas de forma espontánea un proceso conocido con el nombre de autodepuración o estabilización natural, en el que ocurren fenómenos de tipos físicos, químicos, bioquímicos y biológicos. Este proceso se lleva a cabo en casi todas las aguas con alto contenido de materia orgánica putrescible o biodegradables. Puede afirmarse que el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el empleo de lagunas de estabilización, constituyen un sistema natural de tratamiento, probado en la práctica mundial, con costos relativamente bajos de operación y mantenimiento, suponiendo exista área disponible para estos fines, lo que la hace especialmente atractivas para el tratamiento de las aguas residuales de núcleos rurales y urbanos que carecen de los recursos necesarios , tanto técnicos, financieros y de operación , para hacer frente a tecnologías de tratamiento más complejas y sofisticadas.

### **2.2.2. Objetivo de la laguna de estabilización.**

El objetivo fundamental de la laguna de estabilización es proporcionar un tiempo de retención suficiente para que esta materia orgánica presente en las aguas residuales: productos del metabolismo de los alimentos, organismos vivos y otros componentes, sea degradada hasta niveles que permitan su disposición segura en los cuerpos receptores. La calidad del efluente de las lagunas de estabilización es similar a la alcanzada en plantas de tratamiento secundario convencional , sobre todo para el caso de aguas residuales domésticas , y en particular para la remoción de sólidos sedimentables y materia orgánica expresada como DBO<sub>5</sub>, aunque no sucede lo mismo con el color aparente , sólidos en suspensión y turbiedad , dado por el hecho de que en la mayoría de los casos los efluentes de lagunas del tipo facultativas y de maduración presentan altas concentraciones de algas y sólidos totales en suspensión.

### **2.2.3. Características típicas de las lagunas de estabilización.**

- ✚ Período lento para su estabilización.
- ✚ El agua residual es estabilizada por procesos naturales.

- ✚ Mejoramiento significativo de la calidad microbiológica en comparación con otros sistemas convencionales de tratamiento.

Hay muchos mitos y temores infundados sobre las lagunas de estabilización, sin embargo, tienen muchos años de funcionar exitosamente no sólo en el Caribe, sino también en otras regiones de América y del mundo y son particularmente apropiadas, debido a su bajo costo y el método sencillo para construirlas y mantenerlas. Correctamente diseñadas y construidas, las lagunas para el tratamiento pueden remover efectivamente la mayoría de los contaminantes asociados con las aguas negras municipales e industriales y las aguas de lluvias.

Son especialmente eficaces en la eliminación de problemas y contaminantes tales como la demanda biológica de oxígeno, así como la remoción de otros contaminantes como los sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo, hidrocarburos y metales. La demanda bioquímica de oxígeno DBO en las aguas descargadas y en el efluente es el parámetro que más se utiliza para evaluar las condiciones de trabajo de la laguna. Otros son el caudal y los coliformes fecales a la descarga.

#### **2.4. Desarrollo de las lagunas de estabilización en Cuba como sistema de tratamiento de residuales.**

Además de tener en cuenta lo expuesto en la tabla 1, respecto a la existencia y evolución del número de lagunas de estabilización en Cuba entre el periodo 1971-1976, se considera a nuestro país entre los primeros de Latinoamérica y el Caribe en adoptar y construir lagunas de estabilización, como tratamiento de residuales domésticos, en primer lugar, a lo que siguió su aplicación en el tratamiento de residuales pecuarios, azucareros y de la industria alimentaria en general. Ello respondió a la preocupación del gobierno cubano y de las instituciones especializadas, desde los años iniciales del triunfo de la Revolución, por proteger la calidad de las aguas terrestres, en el contexto del desarrollo económico y social que experimento el país.

Ya a finales de 1997 se estimaba existían unas 1800 instalaciones operando en todo el territorio nacional. En la actualidad, su número está cercano a 3000, de

las cuales alrededor de 300 son operadas por el sistema del INRH, para el tratamiento de residuales domésticos.

La mayoría de estas lagunas son del tipo facultativas primarias que tratan caudales en un rango de unos 5 L/s – 20 L/s, no existiendo experiencia en el diseño de grandes sistemas mayores de 100 L/s, donde para estos caudales se prefiere el diseño de sistemas de tratamiento convencionales.

#### **2.4.1. Principios generales de funcionamiento de la laguna de estabilización.**

Una laguna de estabilización puede definirse como un reactor horizontal en el cual el flujo hidráulico no es ideal [flujo disperso], donde ocurren múltiples procesos simultáneos: físicos, químicos y biológicos, que promueven y facilitan la remoción de microorganismos patógenos y de la materia orgánica.

A diferencia de las plantas de tratamiento de tipo convencional, donde el tiempo de retención hidráulico del sistema se mide en horas, en las lagunas de estabilización se mide en días, por el hecho de que los tiempos de retención en las lagunas son muchos mayores. Se puede considerar que las lagunas de estabilización se acercan a los sistemas naturales, y se asemejan a los fenómenos de autodepuración de ríos y embalses.

Estos procesos, en términos generales, son:

- ✚ Físicos: sedimentación y flotación.
- ✚ Químicos: neutralización, oxidación y reducción.
- ✚ Químico -físico: adsorción, absorción.
- ✚ Biológicos: los microorganismos presentes emplean como sustratos la materia orgánica biodegradable contenida en las aguas residuales, transformándola en metabólicos inorgánicos más estables.

La degradación de la materia orgánica, en general, ocurre por vía microbiana en presencia de oxígeno, luego es un proceso de tipo aeróbico en gran parte

de su volumen. En las capas profundas, sin embargo, ocurre la digestión anaeróbica de los sólidos sedimentados.

La reducción de bacterias en los estanques está en función de la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto, los nutrientes, la radiación solar y el tiempo de permanencia [retención hidráulica].

Se admite también, que el principio de funcionamiento de una laguna de estabilización, es copiado de la naturaleza. Cada cuerpo de agua tiene la capacidad de purificarse por sí mismo, si la contaminación no sobrepasa ciertos límites. Por supuesto, no se puede esperar que una laguna se purifique después que, por ejemplo, toneladas de gasolina fluyeron en este cuerpo de agua. Al contrario, si se trata de pequeñas contaminaciones puntuales, los microorganismos que viven directamente en el agua o en la superficie de rocas y plantas pueden metabolizarlas y purificar el cuerpo de agua. Ver figura 3.



**Figura 3.** Microorganismos que viven directamente en el agua o en la superficie de plantas o rocas [SENASBA 2015].

### 2.4.2. Tipos de lagunas de estabilización.

Las lagunas de estabilización suelen clasificarse en:

#### Lagunas aerobias.

Las lagunas aerobias [Ver figura.3], se pueden clasificar, según el método de aireación utilizado, sea natural o mecánico, en aerobias y aireadas.

- + Lagunas aerobias: la aireación es natural, siendo el oxígeno suministrado por intercambio a través de la interface aire-agua y fundamentalmente por la actividad fotosintética de las algas.
- + Lagunas aireadas: en ellas la cantidad de oxígeno suministrada por medios naturales es insuficiente para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica, necesitándose un suministro adicional de oxígeno por medios mecánicos.

Reciben aguas residuales que han sido sometidos a un tratamiento y que contienen relativamente pocos sólidos en suspensión. En ellas se produce la degradación de la materia orgánica mediante la actividad de bacterias aerobias que consumen oxígeno producido fotosintéticamente por las algas. Son lagunas poco profundas de 1 a 1.5m y suelen tener un tiempo de residencia elevado, de 20-30 días.

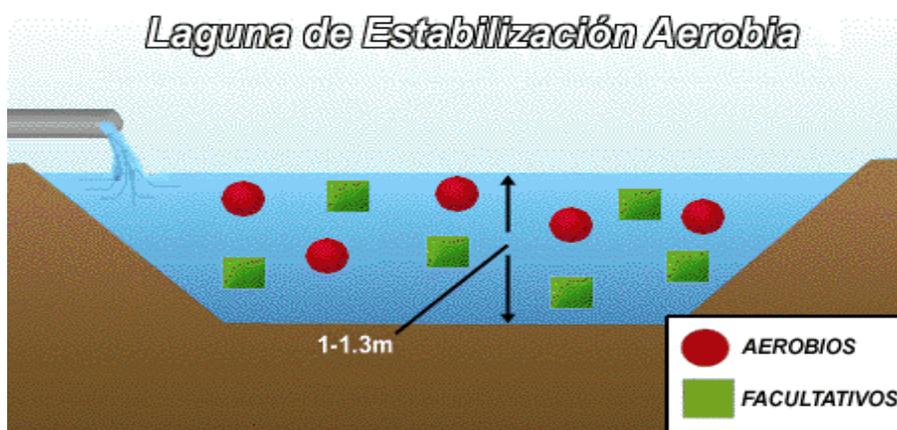


Figura.3 Ejemplo de una laguna aerobia.

#### Lagunas anaeróbicas.

Las lagunas anaeróbicas [ver figura 4] se construyen fundamentalmente para reducir la carga orgánica sedimentables, se diseñan empleando el modelo de mezcla completa y tiempos de retención hidráulica [TR] entre tres y siete días.

Las cargas impuestas suelen estar comprendidas entre 800 y 1300 kg. (DBO)<sub>5</sub> por hectárea por día. La carga volumétrica debe ser siempre mayor de 40 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup> y no exceder 400 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>, lo que está en función con la cantidad y naturaleza de los sólidos sedimentables.



**Figura.4** Ejemplo de una laguna anaeróbica. Fuente [Manual de operación de laguna de Estabilización INRH 2002].

Estas se utilizan como primera fase en el tratamiento de las aguas residuales urbanas e industriales con alto contenido de materia orgánica biodegradable, siendo su objetivo fundamental la reducción de contenido en sólidos y materia orgánica del agua residual.

#### **Lagunas facultativas.**

Las lagunas facultativas, [ver figura 5], han sido empleadas como método por excelencia para tratar los efluentes de aguas residuales de origen doméstico (escuelas, centros de trabajo, etc.) y poblados en áreas rurales. Su elección se fundamenta en las ventajas que presentan en relación al costo, operación, mantenimiento y probada eficiencia, dadas las posibilidades actuales de destinar áreas para estos fines.

El rango de carga permisible está comprendido entre 200-400 Kg. DBO<sub>5</sub>/ha/d (carga superficial), la profundidad se selecciona entre 2 - 2.5 metros. La relación largo / ancho [L/W] usual es 2 - 4 y el tiempo de retención hidráulica puede variar entre 7 y 20 días de acuerdo al objetivo del tratamiento.



**Figura.5.** Ejemplo de una laguna facultativa. Fuente [Manual para operadores GEAAL 2011].

Los términos *aerobia*, *anaeróbica* y *facultativa* se han tomado de la clasificación microbiológica de los microorganismos participantes.

La clasificación de microorganismos se basa en diversos conceptos, uno de ellos el mecanismo respiratorio; las bacterias que respiran oxígeno se llaman aerobias; las que respiran mediante mecanismos de óxido reducción sin participación de oxígeno gaseoso son las anaerobias mientras que aquellas que se adaptan a uno u otro mecanismo respiratorio son las bacterias facultativas.

### **Lagunas de maduración.**

Este tipo de laguna tiene como objetivo fundamental la eliminación de bacterias patógenas. Además de su efecto desinfectante, las lagunas de maduración cumplen otros objetivos, como son la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y consecución de un efluente bien oxigenado.

Las lagunas de maduración se construyen generalmente con tiempo de retención de 3 a 10 días, con un mínimo de 5 días cuando se usa una sola y profundidades de 1 a 1.5 metros. En la práctica el número de lagunas de maduración lo determina el tiempo de retención necesario para proveer una remoción requerida de coliformes fecales.

Las lagunas de maduración suelen constituir la última etapa del tratamiento, por medio de una laguna facultativa primaria o secundaria o de una planta de tratamiento convencional, debido a la eliminación de agentes patógenos, si se reutiliza el agua depurada.

## 2.5. Elementos que integran un sistema de lagunas de estabilización.

Los elementos que integran un sistema de lagunas de estabilización son:

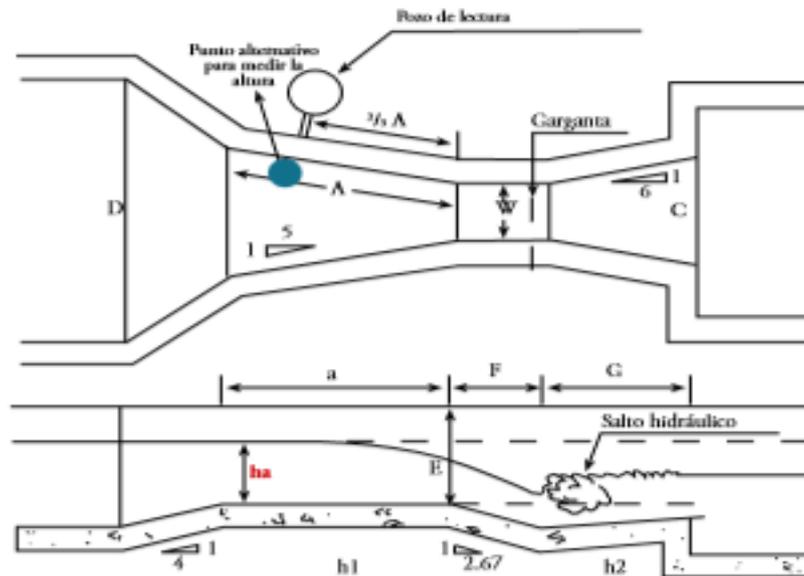
- ✚ Unidad de pre tratamiento [opcional].
- ✚ Dispositivos de entrada.
- ✚ Cuerpo de la laguna.
- ✚ Dispositivos de salida.
  
- ✚ Medidores de caudal, cámaras de distribución, válvulas y compuertas.

Estos elementos son dispositivos tecnológicos cuyos objetivos son regular o medir el caudal de agua. Ellos permiten tanto conocer el flujo de agua en la entrada y en la salida, así como poder variar éste según lo requieran los procesos de tratamiento. Para que funcionen adecuadamente todos estos componentes deben mantenerse sin obstrucciones de material flotante u otros sólidos, para lo cual deben ser limpiadas con un cepillo y lavadas con mangueras para prevenir la acumulación de grasa y detergentes. Del mismo modo, las válvulas y compuertas deben ser inspeccionadas periódicamente, de manera de asegurar una operación del sistema de acuerdo a los caudales previstos. Deben instalarse dos medidores de caudal en la laguna: uno en la entrada y otro en la salida. La comparación entre los flujos de entrada y salida permite determinar el tiempo de retención promedio [a partir del conocimiento de las dimensiones de la laguna] y brinda una idea de la magnitud de la evaporación, infiltración, así como de la precipitación pluvial. Los medidores de caudal más utilizados en lagunas son las canaletas tipo Parshall y los vertedores.

### **Medidor Parshall.**

Este sistema es el más frecuente para medir el caudal, y funciona bien siempre que haya un flujo constante, es decir, si el sistema trabaja con bombas que causan un flujo intermitente el canal de Parshall no sirve para determinar el caudal. La estructura de aforo tiene tres partes distintas: la entrada, la garganta y la salida. La entrada está formada por dos paredes convergentes. Después

se ubica la garganta, donde se encuentra el flujo más rápido [ver figura 6]. Finalmente, la sección divergente que sigue después de la garganta es la salida del canal de Parshall.



**Figura .6.** Ejemplo de una canaleta Parshall con dimensiones. Fuente [SENASBA 2015].

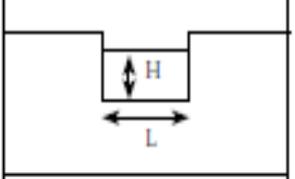
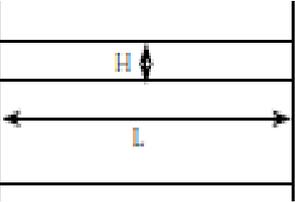
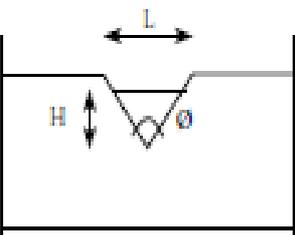
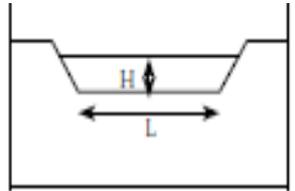
Lo interesante de esta forma es que la altura del tirante de agua que fluye por el canal de Parshall es proporcional al caudal. Es decir, la altura del agua que se mide indica el caudal los [litros por segundo] que entran por este dispositivo.

Se determina la altura en el pozo de lectura o pozo de calma. Este punto se encuentra a  $\frac{2}{3}$  de la longitud completa de la entrada [A], medurado de la garganta hacia la entrada del canal. Se puede medir la altura del tirante de agua dentro del canal paralelamente al pozo de lectura, en caso de no existir. La altura del agua determinada en este punto se usa para establecer el flujo. Para eso se requiere la tabla que corresponde al ancho de la garganta de Parshall, y que muestra para las diferentes alturas del tirante el caudal, a veces también se entregan un cálculo con lo que se usa la altura para calcular el caudal. La tabla generalmente la realiza la compañía que construyó el canal de Parshall. En su defecto, también se puede calibrar el canal, para sí mismo a través de, por lo menos, cuatro mediciones del tirante de agua en el pozo de lectura con un caudal conocido.

### Vertedores de aforos.

Para medir pequeños caudales se puede usar los vertederos de aforo. Estos son dispositivos hidráulicos que tienen una escotadura rectangular, trapezoidal o triangular y son lo más utilizados en Cuba para medir el caudal en lagunas de estabilización. El agua pasa por esta escotadura, y el tirante que tiene el agua, medido desde el punto más profundo, indica el caudal. Según la forma de la escotadura, es imprescindible usar distintos cálculos. Por ejemplo, para una escotadura triangular de 90° se puede estimar el caudal en litros por segundos:  $1,4 \times [\text{Altura en cm}]$ . En la tabla No 2, se muestra algunos ejemplos de diferentes escotaduras y cálculos que se usa para medir el caudal.

**Tabla 2.** Tipo de vertedores, diagrama y ecuación para el cálculo del caudal.

Tipo de vertedor	Diagrama	Ecuación
Regular con contracción		$Q=1.83 \cdot L \cdot H^{1.5}$ Q=caudal en m <sup>3</sup> /s L=Longitud de cresta en m H=cabeza en m
Regular sin contracción cuando cae por una pared		$Q=3.3 \cdot L \cdot H^{1.5}$ Q=caudal en m <sup>3</sup> /s L=Longitud de cresta en m H=cabeza en m
Triangular		$\text{Ø}=90^\circ$ $Q=1.3 \cdot H^{2.5}$ Q=caudal en m <sup>3</sup> /s H=cabeza en m $\text{Ø}=60^\circ$ $Q=0.775 \cdot H^{2.47}$ Q=caudal en m <sup>3</sup> /s H=cabeza en m
Trapezoidal		Si la pendiente de los lados tiene una relación 4[vertical] / 1[horizontal], se aplica: $Q=1.859 \cdot L \cdot H^{1.5}$ Q=caudal en m <sup>3</sup> /s

		L=Longitud de cresta en m H=cabeza en m
--	--	--

## 2.6. Superficie de las lagunas.

El área de la laguna se determina no por los bordes de los taludes, sino por la superficie del agua en ella. En las lagunas de forma rectangulares esta área se calcula como producto de su largo por el ancho. Es en esta área donde se produce el intercambio de oxígeno, tanto del aire mediante el oleaje como por la fotosíntesis de las algas. Esta superficie de las lagunas debe mantenerse siempre limpia de sólidos flotantes: como natas, grasas o aceites, papeles, palos, plásticos, para mantener la presencia de oxígeno en el agua. Puede ocurrir también en las que existe crecimiento excesivo de algas, que éstas creen una nata gruesa que impida el paso de la luz solar, perjudicando el normal funcionamiento de la laguna.

La nata flotante suele ser empujada por el viento hacia las orillas, emitiendo olores desagradables. Para eliminarla se puede construir una cuchara grande de malla metálica con un mango largo para extraerla y sacarla fuera de la laguna, así como los residuos extraídos de las unidades de pretratamiento, para evitar la atracción de insectos y roedores. En las lagunas muy grandes puede ser necesario, además, contar con un pequeño bote para completar la extracción de estas natas.

### 2.6.1. Diques, taludes y dispositivos de entrada y salida.

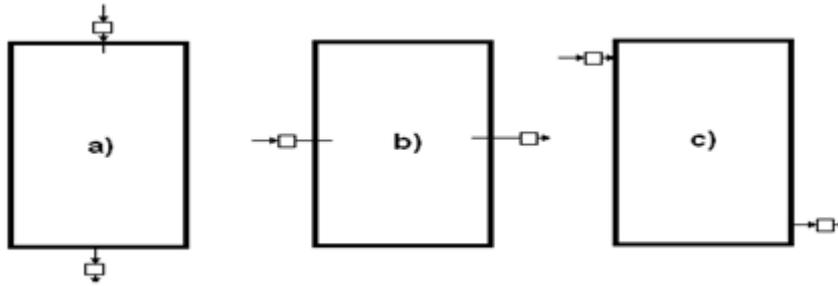
Los diques y taludes tienen como función embalsar el agua dentro de la laguna y evitar la entrada de las aguas de escurrimiento superficial. Sirven, también, para facilitar el acceso de personal y equipos para el mantenimiento, soporte para el cercado y el fomento de vegetación ornamental en los taludes externos [**taludes secos**]. En una laguna de estabilización existen dos tipos de vegetación, a saber, vegetación terrestre y acuática. Los diques, taludes y zonas adyacentes a las lagunas de estabilización, deben mantenerse libres de vegetaciones perjudiciales, ya que las hierbas y malezas favorecen la proliferación de mosquitos y otros insectos indeseables.

La extracción de la maleza terrestre en la parte de los taludes sobre la superficie del agua [**taludes húmedos**], debe realizarse de forma cuidadosa, raspando la superficie y por corte, evitando deformar o dañar el talud. La hierba en la parte seca se debe mantener recortada. Y cubriendo toda la superficie. Es conveniente también que los terrenos adyacentes a la laguna y dentro de su área cercada se mantengan libres de maleza y de hierbas crecidas, no solo para evitar problemas de insectos, sino también para que el lugar presente un aspecto agradable.

En el talud seco y en la entrada de la laguna se debe cultivar plantas ornamentales. Es práctica seleccionar una planta que sea emblema de cada laguna, para contribuir a mejorar el aspecto y servir de identidad para ésta. En cuanto a la vegetación acuática, una laguna bien mantenida y operada no debería presentar problemas de proliferación de insectos molestos, pero si se presentan, los métodos de eliminación son distintos a los empleados en la remoción de vegetación terrestre, como se indicará más adelante. Los conductos para la distribución del agua residual a la entrada de la laguna tanto como los empleados para su colección final determinan el comportamiento de la laguna, así como su eficiencia.

La forma de conexión de los conductos de entrada y de salida a la laguna, [ver figura 7], debe diseñarse de forma que evite la aparición de zonas muertas y cortocircuitos, lo que causa tiempos de retención diferentes, influye en el flujo predominante y determina la eficiencia de remoción. Estas conexiones inadecuadas son bastante frecuentes., por lo que deben ser tenidas en cuenta durante su diseño y construcción. La distribución uniforme del flujo puede lograrse tanto por la relación ancho: largo como por la distribución de los caudales. Ya se ha indicado varias prácticas deficientes. La colocación de una tubería transversa a la entrada y salida y con perforaciones de diámetro y número que permitan un flujo semejante en cada una de ellas han demostrado, cuando son accesibles al mantenimiento, ser sencillas y efectivas.

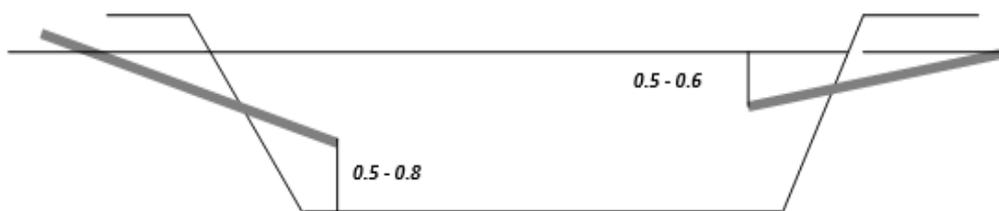
La primera es correcta **a)** y las demás **b)** y **c)** son incorrectas.



**Figura 7.** Diferentes entradas posibles de las lagunas de estabilización. Fuente [Manual para operadores GEAAL 2011].

Muchos autores indican que es preferible colocar la tubería al nivel del suelo, prolongándola unos 2 m o más por encima de una depresión circular, de 0.5 m de profundidad y 10 m o más de diámetro, donde se acumulará la arena por muchos años sin interferir con la boca del canal.

Con frecuencia las tuberías de entrada descargan sobre una losa de concreto de aproximadamente 1 m de diámetro cuando van sumergidas y en el caso ingresos sobre el nivel del agua descarga sobre un revestimiento de piedra de aproximadamente 1 x 2 m justo debajo de la boca de la tubería para evitar la socavación del fondo de la laguna durante la fase de llenado. En la figura 8 se muestra las profundidades recomendadas para tuberías de entrada y salida.



**Figura 8.** Profundidades en [m], recomendadas para tuberías de entrada y salida sumergidas. Fuente [Manual para operadores GEAAL 2011].

### 2.6.2. Cercas y señales.

El cercado alrededor de las instalaciones de una laguna evitan las desagradables consecuencias del acceso de personal no autorizado como la presencia de animales. Los frecuentes reportes de actos de vandalismo y del

uso de prácticas tan peligrosas como la pesca e incluso el baño ilustran la importancia de colocar sistemas de protección física en las lagunas. Este cercado puede hacerse de vegetación adecuada, como cactus y arbustos espinosos densos y estacas con alambre o malla, a alturas entre 1.90-2.40 m, según la forma de vigilancia existente. Esta protección contra el acceso indebido debe ser complementada con una efectiva comunicación con la comunidad aledaña, para que ella perciba los riesgos de una mala conservación y uso indebido de estos sistemas de tratamiento. Los rótulos y señales deben ser claros y suficientes para identificar la instalación como para advertir a la población de los riesgos de acceso y uso indebido de estas lagunas.

Se deben cuidar el estado de las cercas y señales instaladas en el área de las lagunas, para evitar que su deterioro facilite el paso de animales y personas ajenas al recinto. Por otro lado las aguas servidas provocan corrosión en los elementos metálicos como rejas y compuertas del entorno, por lo que se recomienda renovar la pintura cuando se detecte la necesidad de ello.

## **2.7. Obras y elementos complementarios de las lagunas en Cuba.**

- **Conductos de entrada y salida.**

Según [Gutiérrez 2015], en Cuba el diseño tradicional de entrada es a través de entradas múltiples a caída libre, figura 9, donde el flujo se diversifica, con varias captaciones de salidas, según el caudal afluente. En lagunas facultativas primarias, se reconoce que hay alguna que otra entrada sumergida, pero los autores no han encontrado ningún reporte de su eficiencia. Los conductos de entrada y salida a las lagunas pueden ser superficiales o sumergidos, en Cuba la preferencia es la entrada aérea. Según experiencia, las conducciones de entrada y salida superficiales facilitan la ocurrencia de “cortocircuitos” por corrientes de densidad, fenómeno que se observan en algunas lagunas en Cuba con diseños antiguos.



**Figura 9.** Construcción de registro de entrada múltiple. [Fuente el autora 2021].

En Cuba la relación del número de conductos de entrada y salida se suele utilizar con un número par, con vista a evitar “camino” preferenciales “en la circulación de las aguas; con respecto al número de conductos de entrada y salida, puede considerarse que en dependencia de la relación  $[L/W]$ , y del área de la laguna, se ubique una conducción de entrada cada 20 m de ancho, al igual que para las salidas, aunque en este último caso la cantidad puede ser menor, en dependencia del diseño de la estructura de salida.

### **2.8. Operación y mantenimiento a lagunas de estabilización.**

La operación y el mantenimiento de las lagunas de estabilización es principalmente materia de un buen manejo. En muchos aspectos, la operación y el mantenimiento de una laguna es usualmente tan simple que tiende a ser despreciada, originando problemas tanto de eficiencia del sistema como de aspectos estéticos que pueden llegar a ser ofensivos. Desde ese punto de vista, es siempre necesaria una vigilancia fiel y celosa del comportamiento y operación del sistema y la adopción de buenas medidas para asegurar que la laguna se encuentre funcionando perfectamente bajo régimen estacionario, por ejemplo, la espuma que se acumula en la superficie de la laguna debe ser removida periódicamente. Las plantas acuáticas [macrófita] que crecen en la laguna y su litoral también deben sacarse, ya que pueden proporcionar un

hábitat de cría para mosquitos, atraer roedores que pueden debilitar los bordos de la laguna e impedir que la luz penetre en la columna de agua.

### **Factores que influyen en el funcionamiento.**

En el funcionamiento de las lagunas de estabilización influyen diversos factores, sobre todo de tipo físico y químico, que tienen determinada incidencia en el mismo; estos son:

#### **Físicos.**

Temperatura: cuando es mayor de 30 °C la actividad de las algas decrece, las bacterias consumen más oxígeno y hay mayor producción de gases en el fondo.

Iluminación: las algas utilizan entre 2- 9% de la luz solar.

Vientos: favorecen con la formación de olas, el intercambio de oxígeno en la superficie.

Infiltración y evaporación: si son elevados, el nivel de la laguna baja y no hay efluente [se afecta la actividad de las algas y bacterias].

Precipitación: su valor equivale aproximadamente al de la evaporación.

#### **Químicos.**

Nutrientes: el más utilizado por las algas es el dióxido de carbono libre producido por las bacterias.

Oxígeno disuelto: depende de la actividad microbiana y varía con la temperatura

pH: relativamente estable, en condiciones anaeróbicas hay reducción.

Compuestos orgánicos: algunos de ellos ofrecen resistencia a su estabilización.

### **Mediciones de los parámetros operacionales.**

Para mantener un sistema de tratamiento por lagunas de estabilización en buen funcionamiento, es necesario operarlo correctamente y se hace necesario el estricto control sobre algunos factores fundamentales. La observación diaria y constante de ciertos parámetros, necesarios y factibles, a controlar por el operador puede ofrecer la señal precisa de un mal funcionamiento de forma inmediata y proceder en tal sentido, como también conocer el grado de eficiencia del sistema. Estos son:

- ✚ Caudal.
- ✚ Profundidad.
- ✚ Penetración de la luz.
- ✚ Color y olores.

### **Caudal.**

El caudal o gasto es el volumen de agua residual que se genera en la unidad de tiempo, determinado a partir de diferentes mediciones, y se expresa en l/s, m<sup>3</sup>/d.

Es muy importante conocer los caudales que circulan por el sistema, tanto el de entrada como el de salida, por lo que debe medirse no menos de 3 veces al día [7:00 AM, 12:00 M, 7:00PM].

### **Profundidad.**

La profundidad es muy importante para estimar el volumen de operación, asociada al periodo de retención del mismo y las remociones orgánicas y bacterianas.

Esta se mide en cada laguna con una regla graduada y se realizará una vez al día, cuidando siempre que la regla esté perpendicular a la superficie del agua y adecuadamente asentada en el fondo.

### **Temperatura.**

La determinación de la temperatura es muy simple y se realiza con un termómetro, ésta sirve para conocer la eficiencia del tratamiento, así como la producción de metano del fondo y la evaporación superficial. Se debe medir varias veces al día, sobre todo en la mañana y al mediodía

La temperatura debe medirse en el afluente y en el efluente de la laguna, adicionalmente se recomienda obtener la media diaria de cada caso para compararla con la media diaria del aire.

Para medir la temperatura se introduce la punta del termómetro en el agua hasta que el nivel del mercurio permanezca estático, se lee antes de sacarlo del agua y posteriormente, se registra.

### **Penetración de la luz.**

La penetración de la luz es muy fácil de realizar y es una buena indicación de la concentración de algas en la laguna. Se realiza con un disco Secchi, que es un disco metálico o de material plástico de 20 cm de diámetro, dividido en 4 partes iguales, pintadas de negro y blanco de forma alterna, y sujeto en su punto

central por una cuerda, varilla o regla. Para efectuar la medición, se introduce el disco en el agua. La profundidad indicada es medida y anotada. La penetración de la luz en la laguna es el doble de la medida indicada. Esta medición debe hacerse diariamente.

### **Color y olor.**

Un cambio en estos parámetros pronostica, con toda probabilidad, una variación en el comportamiento del sistema, por lo que el operador debe notar diariamente las condiciones generales de la laguna, en especial lo que a olor y color se refiere.

### **Variaciones de la coloración.**

La coloración del agua residual almacenada y su apariencia, indican el estado general de la población microbiana de la laguna. Esta apreciación, es estimada por el operador y debe realizarse todos los días.

El color de una laguna facultativa operando en flujo continuo y en condiciones normales es verde relativamente oscuro. Cuando la característica de color verde de una laguna empieza a cambiar, el operador debe observar las razones que pueden estar provocando este cambio. De hecho, las posibilidades más comunes estarían girando en torno a cambios en el periodo de retención, los que se manifiestan en variaciones del caudal, cambios en la carga orgánica, cambios en la temperatura, la intensidad de la luz o las características del caudal de entrada

Una laguna puede presentar las siguientes coloraciones, indicando cada una de ellas una condición determinada:

### **Verde oscuro.**

Indica que la laguna está trabajando normalmente y en buenas condiciones y hay que limitarse a mantenerla libre de vegetación marginal y remover el material flotante, el que normalmente se acumula en las esquinas de las mismas, de acuerdo a la dirección de los vientos predominantes.

### **Café - amarillento**

Indica que el agua de la laguna es de baja calidad. Esta apariencia es usualmente causada por la aparición de rotíferos ó crustáceos diminutos, los cuales se alimentan de algas. Estos organismos pueden provocar la destrucción de la población de algas de la laguna en pocos días, con la consecuente disminución, a veces violenta del oxígeno disuelto, comenzando a

generarse olores desagradables. Por tanto, es necesaria la aplicación de métodos de control de depredadores de algas, para evitar malos olores

### **Gris**

Se presenta cuando la laguna ha sido sobrecargada orgánicamente o el periodo de retención es tan corto que no se obtiene una completa formación del metano. En este caso es necesario desviar un poco de caudal para restituir la carga orgánica del sistema, o en su defecto, poner fuera de servicio la laguna hasta que se recupere.

### **Verde lechoso**

Esta coloración indica que la laguna ha comenzado el proceso de autofloculación, lo que ocurre cuando el pH y la temperatura se han elevado hasta un punto tal, que el hidróxido de magnesio y/o sulfato de calcio se precipita y producen una acción de barrido, acarreando hacia el fondo las algas y otros microorganismos. Este fenómeno siempre ocurre en lagunas poco profundas o en la superficie caliente de lagunas profundas.

### **Azul verdoso**

Una nata azul verdosa como pintura en la superficie de la laguna, es una indicación de la presencia de algas azul verdosa. Algunas de esas especies son formadoras de natas, las que impiden la penetración de la luz solar y perjudican el normal desempeño de la laguna, mientras que otras especies tornan sensibles el equilibrio microbiano necesario para la operación normal del sistema por las toxinas que emiten. Debe removerse el material flotante periódicamente y las acumulaciones en las esquinas y evaluar los tiempos de retención y zonas muertas.

### **Verde denso**

Indica un crecimiento excesivo de algas que puede ser resultado de una profundidad reducida de operación por derrumbe de taludes o azolvamiento.

### **Negro**

Aparición de material flotante proveniente del fondo. Indica una digestión rápida de los sedimentos del fondo, resultante, frecuentemente, de cambios en las características de las aguas servidas, aportes de riles o de sobrecarga orgánica. Esta situación va acompañada de malos olores.

### **Rosado, rosado lechoso o rojizo.**

Puede indicar, en algunos casos, la presencia de bacterias reductoras del azufre y, por lo tanto, condiciones anaeróbicas con la consecuente producción de olores ofensivos, especialmente en las horas del crepúsculo y el amanecer. En la tabla 3, se muestran los indicadores a evaluar en la laguna según el color del agua.

**Tabla 3.** Indicadores a evaluar en la laguna según el color del agua. Fuente [ Manual para operadores GEAL 2011].

<b>Características</b>	<b>Condiciones</b>	<b>Medidas preventivas a tomar</b>
Color verde brillante hasta alguna profundidad bajo la superficie [sin olor o aromas].	Muy buena	Remoción general de vegetación y flotantes acumulados [ incluyendo taludes].
Color verde azul	Buena	Las algas verde azules crean natas flotantes y acumulaciones en las esquinas que deben removerse periódicamente.
Superficie gris, negra, pardo oscuro. Olores a sulfhídrico	Sobrecarga y anaerobiosis	Actuar desviando caudal o en su defecto detener la unidad hasta que se recupere. Limpiar la unidad antes de una nueva puesta en servicio.
Superficie rosa, rojiza, o color gris oscuro	Anaerobiosis	Puede deberse a la presencia de bacterias reductoras de sulfato. Puede desviarse parte del caudal y limpiar los sólidos flotantes.

#### **2.8.1. Mantenimiento a lagunas de estabilización.**

Se entiende por mantenimiento del sistema, la conservación de las unidades del mismo, impidiendo que factores extraños interfieran en su funcionamiento. De acuerdo con la frecuencia con que se realizan, se pueden distinguir 2 tipos de mantenimientos:

**Mantenimiento propio.** Es el mantenimiento **permanente y periódico**, que se realiza a todas las infraestructura planificadas, según los ciclos de mantenimientos de cada elemento que componen la laguna de estabilización ; o no planificados, tal y como su nombre lo indica este mantenimiento lo realizara el operador y la brigada de la “Empresa ó UEB”, creada para tal efecto , para ello es necesario realizar una preparación técnica de este mantenimiento donde se precise las materias primas y materiales , mano de obra, equipos a emplear y combustible a consumir , formando con ello el presupuesto que respalda este programa [Gastos propio].

- ✚ **Mantenimiento permanente.** Tareas que se realizan diariamente, una ó más veces al día si es necesario [Lo realiza el operador de la laguna].
- ✚ **Manutención periódica.** Aquellas actividades que no es necesario realizar de forma diaria, sino en intervalos más espaciados, pero igualmente periódicos [operador y brigada]. Por su importancia se explicará más abajo el mantenimiento a la cámara de rejas, como ejemplo de mantenimiento permanente y de forma periódica en las lagunas de estabilización.

### **Cámara de rejas.**

A la entrada de toda planta de tratamiento y en los sistemas de lagunas es conveniente prever la colocación de una cámara de rejas para proteger los equipos e instalaciones del proceso tecnológico.

El objetivo de estos elementos es:

- ✚ Evitar la obstrucción de los conductos.
- ✚ Proteger los equipos.
- ✚ Reducir al mínimo la absorción de oxígeno.

La cantidad y dimensiones de la reja se proyectarán de acuerdo a las características de los equipos y procesos a proteger, como mínimo se proyectarán 2 rejas o una con desvío. La cámara de rejas se diseñará para que

la velocidad de circulación del gasto medio sea de 0.60 m/s. y su sección admita el gasto máximo. La inclinación de las barras con respecto a la horizontal depende del tipo de limpieza. Para la limpieza manual el ángulo es de 45° o 60°, para la limpieza mecánica la reja se coloca vertical o con pocos grados de la vertical.

Las rejas de tipo manual, figura 10, son estructuras de hierro que se instalan en el comienzo del sistema de tratamiento. Estas permiten pasar algunos tipos de papeles, excretas y el material más fino, reteniendo en cambio, materias de mayor tamaño como palos, trapos, animales muertos, plásticos, etc. La limpieza de las rejas puede ser manual siempre que la cantidad de materias retenidas sea menor de 0.4 m<sup>3</sup> / día. Las rejas deben ser limpiadas tan a menudo como sea necesario [se recomienda 2 ó 3 limpiezas diarias], a fin de evitar que los residuos acumulados provoquen problemas en el flujo de ingreso al sistema. Los residuos acumulados deben ser rastrillados cuidadosamente hacia la plataforma de drenaje, evitando que pasen entre las barras de acero e ingresen en el sistema junto con el caudal afluente.



**Figura 10.** Rejas tipo manual. Fuente [SENASBA 2015].

Después que los residuos han escurrido, deben ser colocados en un recipiente metálico con tapa destinado para ello, el cual debe ser vaciado periódicamente en una fosa y los residuos cubiertos con una capa de tierra [al modo de un relleno sanitario]. El receptáculo vacío debe ser correctamente lavado antes de volver a usarlo, para evitar proliferación de moscas y malos olores.

**Mantenimiento Mayor.** Para la planificación de este mantenimiento es necesario tener identificado los objetos de obras y definidas las acciones constructivas para cada una, después de haber realizado la evaluación - diagnóstico , este caso exige un proyecto o en su lugar croquis, preparación técnica, listado de materiales, carta límite,[ver anexo 1], cronograma de ejecución y presupuestos independientes, lo que determina el valor de cada obra para el monto total de este mantenimiento. Especificar que este mantenimiento abarca todos los objetos de la infraestructura los cuales son identificados por su estado técnico y el volumen de las acciones a realizar. [Financiamiento INRH]. Ver figura 11.



**Figura 11.** Instalación de conducto de salida. [Fuente el autor 2021].

Dentro de las acciones de mantenimiento mayor que se les realizan a las lagunas de estabilización se encuentra, la extracción de lodos, por su importancia se explicará a continuación.

#### **Extracción de lodos.**

Debido a que la acumulación gradual de sólidos en el fondo de la laguna representa una pérdida en el volumen útil, con la consecuente disminución del periodo de retención, se recomienda la limpieza de fondo de la laguna en intervalos de 4 - 5 años. La limpieza del fondo se efectúa desaguando el líquido y dejando secar el lodo. Pasado cierto tiempo el lodo empieza a cuartearse ó dividirse en terrones, y se considerará seco cuando el operador encargado puede caminar sobre el lodo, sin que se hunda el pie ó se resbale. Otro índice

de sequedad, es que los terrones de lodo puedan desprenderse con suma facilidad del fondo de la laguna con un tridente.

Una vez seco, el lodo debe extraerse en forma mecanizada y manual sin afectar los taludes y fondos. Puede ser necesario, sin embargo, en lagunas grandes, la necesidad de franquear uno de los taludes, preferiblemente donde no existan registros y tuberías para facilitar la limpieza mecanizada. En este caso, el talud debe ser restituido de forma segura, incluidos su compactación y revestimiento.

## **2.9. Visión y alcance del mantenimiento.**

El sistema de mantenimiento en la empresa además de formar parte de su gestión, tiene que estar encaminado a mantener las instalaciones, equipos y sistemas en óptimas condiciones de funcionamiento, evitando las roturas o los trabajos imprevistos que afectan el cumplimiento de los adjetivos y programas, sobre la base de minimizar el desgaste progresivo de piezas, componentes, equipos e instalaciones que integran la infraestructura y garantizan la sostenibilidad de los servicios de abasto y saneamiento, eliminando con ello la posibilidad de averías, lo cual permite una preparación previa de los trabajos de reparación en un corto plazo, creando las premisas necesarias para la máxima utilización del ítem, la efectividad en el trabajo, la disminución del tiempo de interrupción y de los costos asociados a las acciones de mantenimiento, además del aumento de la calidad.

### **2.9.1. Problemas o acciones ingenieras más comunes.**

Los problemas más comunes que se presentan en las lagunas de estabilización, se relacionan en la siguiente tabla 4.

**Tabla 4.** Problemas más comunes en las lagunas de estabilización. Fuente la [Autora 2021].

<b>Parte o elemento de la laguna</b>	<b>Problemas más comunes</b>
Bermas y taludes.	Crecimiento de yerbas y arbustos.
Registros y tuberías.	Obstrucción de los registros o tuberías de

	entrada del residual y salida del efluente.
Fondo de la laguna.	Aumento del volumen de sedimentación , presencia de plantas acuáticas indeseables
Registros de entrada, salida y emisarios.	Ausencia de conservación periódica.

### **2.10. Preparación técnica de obra para el mantenimiento mayor.**

La preparación técnica, es más que las actividades llevadas a cabo desde la solicitud de oferta hasta la firma del contrato. La preparación técnica de la obra es un proceso fundamental, pues es donde se completa la documentación necesaria e imprescindible para la ejecución de la obra y su puesta en marcha cumpliendo los objetivos de calidad – costo - plazo de ejecución.

## **Capítulo 3: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.**

### **3.1. Propuesta de guía para la realización de una tarea técnica y el mantenimiento mayor a lagunas de estabilización.**

#### **3.1.1 Objetivo.**

Establecer los pasos a cumplir durante el proceso de realización de una preparación técnica y el mantenimiento mayor a lagunas de estabilización, por parte de las UEB, pertenecientes a la “Empresa de Reparación y Mantenimiento a Obras Hidráulica”.

#### **3.1.2 Alcance.**

Esta guía tiene aplicación en todas las UEB que realizan o participan en el proceso de ejecución del mantenimiento mayor a lagunas de estabilización, perteneciente a la “Empresa de Reparación y Mantenimiento a Obras Hidráulica”.

#### **3.1.3 Responsabilidades y autoridades.**

- ❖ El director general de la Empresa y los directores de las Unidades Económicas de Base [UEB], son los máximos responsables que se cumpla aplicación de esta guía.
- ❖ Los especialistas de cada UEB, son los responsables de del llenado de los documentos técnicos e informativos que intervienen en el proceso, así como de chequear y controlar la ejecución de las acciones de mantenimiento mayor que se les realicen a estos sistemas de tratamiento. Además de velar para que se garantice la calidad requerida en su terminación.

### **3.2. Desarrollo.**

Para una mejor comprensión de la propuesta de guía, la misma se dividirá en dos fases; la fase I tendrá en cuenta los aspectos relacionados con la preparación técnica teniendo en cuenta que este proceso es el paso previo a

realizar para acometer las acciones de mantenimiento mayor a estos órganos de tratamiento. La fase II tendrá en cuenta los aspectos relacionados con las acciones de mantenimiento mayor y su control.

### **Fase I.**

- ❖ Para la confección de la preparación técnica de las labores a realizar relacionada con el mantenimiento mayor a la laguna estabilización se solicitará al cliente la entrega de un proyecto o una tarea técnica en los que se dé detalles de las acciones a ejecutar por objeto de obra y se precise el alcance de los trabajos a realizar.
- ❖ El proyecto o tarea técnica formará parte del expediente de la obra y queda prohibido confeccionar una preparación técnica sin que previamente se entregue por el cliente uno de los documentos antes mencionados.
- ❖ La obra a ejecutar contará con un contrato legal debidamente formalizado por las partes involucradas y se prohíbe el inicio de un servicio o la ejecución de la obra sin la formalización previa del contrato para su ejecución.
- ❖ En el contrato se precisará el alcance de los trabajos, las especificaciones y normas técnicas que se utilizarán; los plazos de ejecución, el precio del servicio de construcción, el presupuesto detallado por objeto de obra, el periodo que abarca la garantía, entre otros aspectos.
- ❖ La preparación técnica de la obra contendrá los siguientes documentos:
  - a) Cálculo del precio del servicio de construcción que incluirá:
    - i. Memoria descriptiva del presupuesto.
    - ii. Hoja resumen.
    - iii. Presupuesto por renglón variante.
    - iv. Programación cuantitativa de mano de obra, materiales y equipos.
    - v. Tabla de cálculo de todas las partidas que conforman la hoja resumen.
  - b) Cronograma de ejecución.
  - c) Carta límite.

- d) Demanda de combustible por etapas.
- e) Proyecto de organización de obra en correspondencia con la secuencia constructiva que se defina.
- f) Plan de calidad donde se reflejen todos los puntos de control asociados a las acciones constructivas, precisar las regulaciones de la construcción y normas cubanas a cumplir en cada caso.

❖ La obra contará con un expediente técnico que contendrá, como mínimo, los siguientes documentos:

- a) Tarea o proyecto técnico firmado por el autor y el jefe inmediato superior.
- b) Contratos y suplementos debidamente formalizados.
- c) Documento de revisión o evaluación técnica emitido por la Dirección Técnica.
- d) Licencias de los órganos de consulta en el caso de las obras del programa de inversiones.
- e) Acta de inicio, acta de paralizaciones, acta de trabajos ocultos y acta de entrega de obra.
- f) Cronograma ejecutivo y directivo.
- g) Carta límite.
- h) Registros de vales de entrada y salida de recursos.
- i) Libro de obra [en el expediente para el caso de la obra terminada y en la obra para la obra en ejecución].

## **Fase II.**

1. Para ejecutar acciones de mantenimiento mayor a laguna de estabilización, dicha obra debe estar aprobada en el plan de la economía del año que se trate, ya que con esto se garantiza:
  - ❖ Los recursos necesarios para para la ejecución de los trabajos de reparación y mantenimiento, así como el combustible a consumir por cada trabajo que se ejecute además de responder a los objetivos de trabajo del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos [INRH].

2. Se realizará una visita de trabajo a la obra, en la que participaran el constructor, inversionista y el explotador con este paso garantizará:

- ❖ Diagnóstico, evaluación de los trabajos a realizar en la laguna de estabilización [ficha técnica], ver anexo 2.
- ❖ Se llegará a consenso entre las partes de las acciones de reparación y mantenimiento que se llevaran a cabo, así como el alcance de misma.

3. Luego de haberse realizado el paso anterior, se procederá por parte del constructor, realizar la tarea técnica, la cual incluye:

- ❖ Planos o en su defecto croquis de la laguna.
- ❖ Certificación de obra.
- ❖ Materiales primarios de la certificación.
- ❖ Presupuestos y gastos de la obra.
- ❖ Listado general de materiales, equipos a utilizar, combustible a consumir etc.
- ❖ Cronograma de ejecución.

4. Después de realizado el paso anterior se realizará la contratación de la obra que serán firmadas una vez analizado esta por el constructor y el contratista, ver anexo 3, el mismo incluye:

- ❖ Copia del listado general de materiales que se emplearán en el proceso de reparación y mantenimiento a la laguna de estabilización.
- ❖ Copia del cronograma de ejecución de la obra, donde se destaque entre otras cuestiones fecha de inicio y fecha de terminación de dicha obra.

5. Se iniciarán los trabajos de reparación y mantenimiento, no sin antes haberse firmado entre las partes [constructor, inversionista y explotador], un acta de inicio de obra, ver anexo 4, la misma contendrá:
- ❖ Nombre, ubicación y empresa a que pertenece la obra.
  - ❖ Resolución ministerial que establece los detalles a tener en cuenta para la reparación y mantenimiento de la obra.
  - ❖ Valor total contratado de la obra en CUP.
  - ❖ Listado por conceptos de gastos que incurrirá la obra.
  - ❖ Otros detalles generales de información acerca de la fecha de inicio y terminación de los trabajos.
6. Se procederá a habilitar un libro de obra amparado en la “Resolución Ministerial 742/2000”, con el objetivo de hacer las anotaciones pertinentes, durante la ejecución de los trabajos, quedando constancias escrita de las mismas, el libro contendrá:
- ❖ Folio de la Dirección de Economía de la Empresa, en todas sus páginas.
  - ❖ Datos generales de la empresa constructora.
  - ❖ Organismo inversionista.
  - ❖ Valor presupuestado de la obra el CUP.
  - ❖ Programación directiva según documento, fecha de inicio y de terminación de la obra.

Tendrán acceso y estarán facultados para hacer anotaciones en este libro, los representantes del inversionista, constructor, suministrador y por los órganos de inspección estatal del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos [INRH].

7. Durante el tiempo según cronograma que dura la ejecución de la reparación y mantenimiento a la obra, el constructor , inversionista y explotador planificarán visitas , para chequear entre las partes la calidad de los trabajos que se realizan ,y así dejar resultas cualquier situación que atente contra la calidad de los mimos [dejaran constancia por escrito de las decisiones que se tomen en el libro de obra].Se recomienda que dichas visitas tengan frecuencia semanal , ya que la misma garantizaría la aceptación de la factura por parte del contratista sin ningún tipo de dificultad.
8. Al concluir los trabajos de reparación y mantenimiento de la laguna de estabilización, se procederá a la entrega por parte del constructor de misma, la cual se realizará a través de un acta de entrega y recepción de obras, ver anexo 5, el cual incluye:

- ❖ Datos generales de la empresa constructora y contratista.
- ❖ Nombre y ubicación de la obra.
- ❖ Decreto que establece los detalles de la documentación que se establecen [Decreto Ley 327 del consejo de ministro].
- ❖ Valor total de la obra en CUP.
- ❖ Firmas de conformidad de las partes.

## **Conclusiones.**

Como resultado de la investigación pudo arribarse a las conclusiones generales siguientes.

1-Se elaboró una propuesta de una guía que establezca los lineamientos a seguir para la realización de una tarea técnica y el mantenimiento mayor a laguna de estabilización, teniendo en cuenta el marco teórico -referencial de la investigación, consultándose literatura científica nacional e internacional, que posibilitó acercarse a los elementos esenciales para el desarrollo de la misma.

2-Se garantizó el documento final en forma de trabajo de diploma.

## Recomendaciones

A modo de recomendación se plantea lo siguiente.

1. Que el resultado de esta investigación se presente ante el consejo de Dirección de la “Empresa de Mantenimiento y Reparación a Obras Hidráulicas” [EMROH], con el objetivo de que se evalúe y se apruebe la propuesta de una guía donde se establecieron los lineamientos a seguir para elaboración de una tarea técnica y el mantenimiento mayor a lagunas de estabilización.
2. Que la propuesta de esta guía, constituya una herramienta de trabajo a especialistas y personal técnico que atienden el mantenimiento de estas obras hidráulicas.
3. Hacer extensiva la propuesta de la guía a todas las Unidades Empresariales de Base entiéndase [UEB], que integran la “Empresa de Mantenimiento y Reparación a Obras Hidráulicas” [EMROH], una vez sea evaluada y aprobada dicha propuesta.
4. Que se continúe esta investigación por otros autores con el objetivo de potenciar el trabajo técnico dentro de la Empresa de referencia.

## **Referencias bibliográficas.**

1. Iglesias Guerra, Reinaldo [2015]. Elementos de Mantenimiento. Habana Cuba....
2. Guía de Operación y Mantenimiento de Lagunas de Oxidación en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. [ SENASBA 2015].
3. Yáñez, Fabián. [1976]. Lagunas de estabilización. Lima-Perú: Ediciones CEPIS.
4. Manual para Operadores de Lagunas de Estabilización. INRH. La Habana.2002
5. Lagunas de Estabilización. Manual para operadores GEAAL 2011.
6. Gutiérrez, Joaquín. et al. [2015]. Manual de lagunas de estabilización. Habana- Cuba: Ediciones INRH.

## Bibliografía

1. Cherta, Rosario. et al. [2011]. Lagunas de Estabilización.
2. Comisión Nacional del Agua. 2007. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de lagunas de estabilización. México.
3. Córdova López, Luis: Método de Diseño de Lagunas de Estabilización. De Lagunas de Estabilización. Ejemplos. Conferencia CIH. ISPJAE. La Habana, 2008.
4. Dirección de acueducto y alcantarillado, 2002: Manual de operadores de lagunas de estabilización. INRH
5. Guerra Hernández, Gisel: Lagunas de Estabilización. Consideraciones de Diseño y Mantenimiento. Curso para Operadores. EAA Ciego de Ávila.. Ciego de Ávila.2010.
6. Guerra Hernández, Gisel: Lagunas de Estabilización. Curso para Operadores.EAA Ciego de Ávila. Ciego de Ávila.2010.
7. Guevara Vega, Antonio. et al. [1996]. Propuesta Metodológica Evaluación de Lagunas de Estabilización, Lima-Perú: Ediciones CEPIS.
8. Herrera, Leandro: Lagunas para Remoción de Orgánicos. Curso Universidad. España.. 2005
9. Mercado, Álvaro. [2013]. Técnicas de tratamiento de aguas residuales para reúso. Santa Cruz: Ediciones RALCEA.
10. NC:XX:1999 (Experimental):Vertimiento de Aguas Residuales a las Aguas Terrestres y al Alcantarillado. La Habana.1999.
11. Norma cubana 27:2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. La Habana.
12. Operadores. Cuba: Ediciones GEAAL. INRH.
13. Prada, Abelardo. [2006]. Sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas. [Tesis de Grado]. Universidad de Los Llanos, Sede Barcelona, Villavicencio.
14. Rollim, 2000
15. Romero, Jairo. [1999]. Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. Bogotá-Colombia: Ediciones Alfaomega.
16. Sáenz Forero, Rodolfo: Consideraciones en Relación con el Uso de Lagunas de Estabilización en el Tratamiento de Aguas Residuales. HDT33.CEPIS/ OPS .Lima, 2002.

## Anexos

Anexo 1 Carta limite

Anexo 2 Ficha técnica de laguna de estabilización

Anexo 3 Contrato de presentación de servicios constructivos No. Año: 2021

Anexo 4 Acta de inicio de obra

Anexo 5 Acta de entrega y recepción de obra