



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS PREFABRICADA Y UNA CONSTRUIDA EN SITIO**

José Carlos Hernández Gramajo
Asesorado por el MSc. Ing. Manuel Alberto Ávila

Guatemala, septiembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS PREFABRICADA Y UNA CONSTRUIDA EN SITIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ CARLOS HERNÁNDEZ GRAMAJO

ASESORADO POR EL MSc. ING. MANUEL ALBERTO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

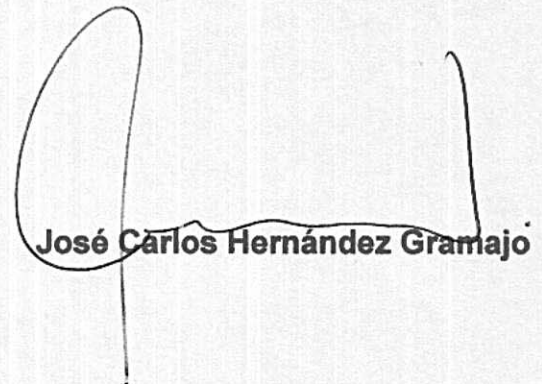
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Ramón Ordoñez Hernández
EXAMINADOR	Ing. Renzo Ricardo Grazioso Sierra
EXAMINADOR	Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PREFABRICADA Y UNA CONSTRUIDA EN SITIO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 21 de marzo de 2014.



José Carlos Hernández Gramajo

Guatemala 29 de junio del 2014

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director
Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala


Estimado Ingeniero Montenegro:

Reciban un cordial saludo esperando se estén llevando a cabo sus labores docentes y profesionales de la mejor manera posible.

El motivo de la presente es con el propósito de informarle que en mi calidad de asesor, hago de su conocimiento que el trabajo de graduación titulado: **“COMPARACION DE COSTOS ENTRE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS PREFABRICADA Y UNA CONSTRUIDA EN SITIO”**, desarrollado por el estudiante universitario **José Carlos Hernández Gramajo**, ha cumplido con los objetivos y requisitos de ley, por lo que apruebo su contenido, solicitando a su vez darle tramite respectivo, en cuanto a su aprobación e impresión.

Sin otro particular me suscribo.

Atentamente,



MANUEL A. AVILA
INGENIERO CIVIL/L
COLEGIADO 6371

MBA, M.Sc. Ing. Manuel Alberto Ávila

Colegiado No. 6,371

Asesor



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
28 de agosto de 2014

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS PREFABRICADA Y UNA CONSTRUIDA EN SITIO, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil José Carlos Hernández Gramajo, quien contó con la asesoría del Ing. Manuel Alberto Ávila.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
PLANEAMIENTO
USAC
Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarria
Jefe del Departamento de Planeamiento

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





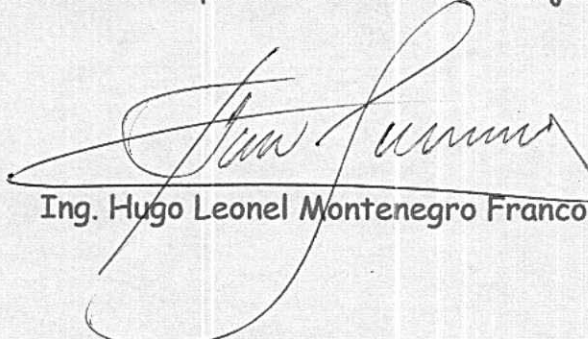
USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Manuel Alberto Ávila y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría, al trabajo de graduación del estudiante José Carlos Hernández Gramajo, titulado **COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS PREFABRICADA Y UNA CONSTRUIDA EN SITIO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

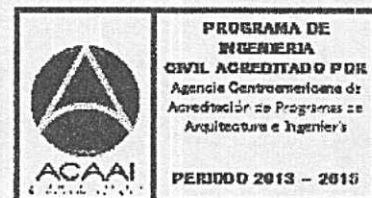

 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, septiembre 2014.

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
de Guatemala

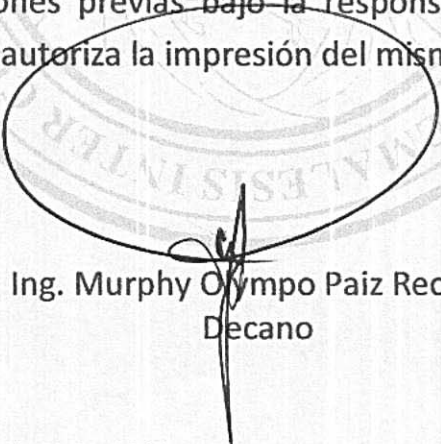


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 509.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PREFABRICADA Y UNA CONSTRUIDA EN SITIO**, presentado por el estudiante universitario **José Carlos Hernández Gramajo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 25 de septiembre de 2014

/gdech



AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por darme la oportunidad de realizar mis estudios profesionales y culminarlos con éxito.

Facultad de Ingeniería

Por ser la base de mi formación profesional y enriquecerme con sus conocimientos.

**Mis amigos de la Facultad
de Ingeniería**

Por su apoyo, amistad y compañía en toda mi carrera.

Ing. Manuel Alberto Ávila

Por su amistad, apoyo y asesoría brindada, por compartir sin egoísmo todos sus conocimientos profesionales y ser un ejemplo de vida.

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios y la Virgen Maria** Por darme la vida, por ser la raíz, la luz y fortaleza en cada instante de mi vida, y por darme la oportunidad de tener presente a mi familia compartiendo este triunfo.
- Mi esposa** Mercie Marroquin (mi luna linda), por compartir tu vida, tu amor sin medida y sin límite, por ser mi ayuda idónea y apoyarme en cada decisión de nuestras vidas. Gracias mi cielo, te amo con todo el corazón.
- Mis hijas** Yolanda Sofia y Mária André, mis princesas, gracias por ser el sol de cada mañana y darle a mi vida el aliento y la razón para continuar, con esas sonrisas de primavera todos los días de su vida. Las amo muchísimo.
- Mis padres** Carlos Alberto Hernández Rodríguez y Sandra Maribel Gramajo de Hernández, por ser el cimiento de mi vida, por el ejemplo de esfuerzo, de trabajo, de amor, por dármelo todo sin pedir nada a cambio, y por amarme completamente en todo momento. Hoy estoy aquí por ustedes, por sus oraciones, este triunfo es de ustedes.

A mis hermanos

Karla, Vanessa, Sofía, Alberto, Sandra, Carlos, David, Marielos, Luis Pablo y Celeste Hernandez Gramajo. Gracias por compartir su vida conmigo, por soportarme, por quererme por apoyarme, por compartir cada tristeza, cada alegría, cada momento, con amor, valentía y con sonrisas, porque sé que en ustedes he encontrado la fuerza para crecer y saber que lo vivido en medio de cualquier dificultad es lo importante.

A mis sobrinos

Eva, Lucy, Fernando y Rocío Murga Hernandez, Dulce Pata y Joaquín Quiñonez Hernandez. Por ser el corazón de la familia, por darnos la alegría a todos nosotros y enseñarnos día a día el valor de la unidad.

Mis abuelos

Alberto Hernández y Elenita de Hernández (q.e.p.d) porque sé que esto es fruto todavía de su bendición. Fermín Gramajo y Pascuala de Gramajo, porque siempre han estado presentes con sus oraciones.

Mis tíos

Que siempre han estado presentes en mi vida, por su cariño y deseos sinceros. En especial a mi tía Gloria Hernandez, que siempre ha estado en la vida de nosotros.

A mis cuñados

Por su apoyo, cariño y por esas celebraciones inesperadas.

A mis amigos

Todos los que han sido parte de mi vida y que hoy comparten este triunfo conmigo, por ser apoyo, por su aliento y motivación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. AGUAS RESIDUALES	1
1.1. Definición.....	1
1.2. Tipos.....	2
1.3. Características.....	4
1.4. Tratamiento	6
1.5. Gestión ambiental.....	10
2. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	13
2.1. Definición.....	13
2.2. Clasificación	13
2.2.1. Según sistema constructivo	15
2.2.1.1. Construidas en sitio	15
2.2.1.2. Prefabricadas	17
2.2.2. Según proceso.....	19
2.2.3. Según forma de funcionar	21
2.2.3.1. Sistema por gravedad.....	22
2.2.3.2. Sistema por energía	22

2.3.	Instalaciones y equipo.....	23
3.	GESTIÓN AMBIENTAL SISTEMAS DE TRATAMIENTO AGUAS	
	RESIDUALES	27
3.1.	Definición	27
3.2.	Antecedentes	27
3.3.	Regulaciones aplicables.....	29
	3.3.1. Nivel internacional.....	29
	3.3.2. Nivel nacional.....	30
3.4.	Herramientas de gestión ambiental.....	30
3.5.	Aspectos ambientales	31
	3.5.1. Definición.....	31
	3.5.2. Tipos	32
	3.5.3. Impactos ambientales	32
	3.5.4. Medidas de mitigación.....	34
4.	EVALUACIÓN CASO PRÁCTICO	35
4.1.	Antecedentes	35
4.2.	Método aplicado.....	35
	4.2.1. Descripción.....	36
4.3.	Diagnóstico	37
4.4.	Actividades de campo	38
	4.4.1. Generalidades	38
	4.4.2. Alcance.....	39
	4.4.3. Medios utilizados.....	39
	4.4.3.1. Visitas.....	40
	4.4.3.2. Entrevistas	40

4.5.	Comparación de costos	41
4.5.1.	Planta de tratamiento de aguas residuales prefabricada (PTARP)	43
4.5.1.1.	Presupuesto de inversión	49
4.5.1.2.	Presupuesto de operación y mantenimiento	50
4.5.2.	Planta de tratamiento de aguas residuales construida en sitio (PTARCS)	52
4.5.2.1.	Presupuesto de inversión	58
4.5.2.2.	Presupuesto de operación y mantenimiento	60
4.6.	Análisis de resultados.....	61
4.6.1.	Generalidades	61
4.6.2.	Tabulación y análisis información	62
4.6.3.	Gráficas y tablas	62
4.6.4.	Interpretación.....	65
4.6.4.1.	Aspectos cuantitativos	66
4.6.4.2.	Aspectos cualitativos	67
4.6.5.	Vida útil ambos sistemas	68
CONCLUSIONES		71
RECOMENDACIONES		73
BIBLIOGRAFÍA.....		75
ANEXOS		79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Aguas residuales sin tratamiento	4
2.	Pretratamiento aguas residuales.....	8
3.	Instalaciones tratamiento aguas residuales	10
4.	Planta de tratamiento construida en sitio	16
5.	PTAR prefabricada (A)	18
6.	PTAR prefabricada (B).....	19
7.	Diagrama de flujo típico. Tratamiento de aguas residuales.....	36
8.	Vista PTARP evaluada.....	43
9.	Cronograma de actividades PTARP.....	48
10.	Vista PTARCS evaluada	52
11.	Cronograma de actividades PTARCS	57
12.	Impactos ambientales generados durante la operación y vida útil de los sistemas de tratamiento y disposición final de aguas residuales ...	69

TABLAS

I.	Clasificación de contaminantes presentes en el agua	6
II.	Biodegradabilidad del agua residual urbana según la relación DBO_5 /DQO	7
III.	Valores eficiencia típica de remoción	20
IV.	Selección de los procesos de tratamiento de las aguas residuales	21
V.	Secuencia manejo del agua residual urbana	25
VI.	Manejo de aguas residuales domésticas en Centroamérica	28

VII.	Programa de operación y mantenimiento	46
VIII.	Diagrama PERT-CPM PTARP.....	47
IX.	Resumen presupuesto de inversión PTARP.....	49
X.	Resumen costos operación y mantenimiento mensual PTARP 25m ³ d	51
XI.	Programa de operación y mantenimiento	55
XII.	Diagrama PERT-CPM PTARCS	56
XIII.	Resumen presupuesto de inversión PTARCS	58
XIV.	Resumen costos operación y mantenimiento mensual PTARCS 25m ³ d	60
XV.	Comparación de costos y tiempos construcción PTAR evaluadas	62
XVI.	Comparación de inversión inicial construcción PTAR evaluadas	63
XVII.	Comparación de costos operación y mantenimiento PTAR evaluadas	64
XVIII.	Comparación de tiempos de construcción PTAR evaluadas	65
XIX.	Comparación aspectos cualitativos PTAR evaluadas.....	68

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
d	Día
DBO₅	Demanda biológica de oxígeno en cinco días
DQO	Demanda química de oxígeno
h	Hora
m	Metro
%	Porcentaje
Σ	Sumatoria
T	Tiempo
TR	Tiempo de retención (días)
U	Unidad

GLOSARIO

Actividad	Conjunto de operaciones propias de un proyecto.
Agua superficial	Toda agua natural abierta a la atmósfera, concerniente a ríos, lagos, reservorios, charcas, corrientes, océanos, mares, estuarios y humedales.
Aguas superficiales	También llamadas “aguas negras”. Son las contaminadas por la dispersión de desechos humanos, procedentes de los usos domésticos, comerciales o industriales. Llevan disueltas materias coloidales y sólidas en suspensión. Su tratamiento y depuración constituyen el gran reto ecológico de los últimos años por la contaminación de los ecosistemas.
Área de influencia directa (AID)	Área sobre la cual se pueden dar impactos directos de las acciones de un proyecto, obra o actividad.
Área de influencia indirecta (AI)	Área sobre la cual se pueden dar impactos indirectos de las acciones de un proyecto, obra o actividad.
Coliformes fecales	El parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.

Contaminación	Es un cambio perjudicial en las características químicas, físicas y biológicas de un ambiente o entorno. Afecta o puede afectar la vida de los organismos y en especial la humana
DBO₅	Demanda bioquímica de oxígeno. La cantidad de oxígeno disuelto consumido en cinco días por las bacterias que realizan la degradación biológica de la materia orgánica.
DQO	Demanda química de oxígeno. Es la medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.
EIA	Estudio de impacto Ambiental.
Gestión Ambiental	Alteración negativa o positiva del medio natural o modificado como consecuencia de actividades de desarrollo, que puede afectar la existencia de la vida humana, así como los recursos naturales renovables y no renovables del entorno.
Impacto ambiental	Alteración negativa o positiva del medio natural o modificado como consecuencia de actividades de desarrollo, que puede afectar la existencia de la vida humana, así como los recursos naturales renovables y no renovables del entorno.

Mantenimiento correctivo	Consiste en las acciones que se efectúan para reparar daños o reponer piezas deterioradas por el uso.
Mantenimiento preventivo	Es aquel que se realiza con una frecuencia determinada con la finalidad de prevenir y evitar daños en el sistema.
MARN	Ministerio de ambiente y recursos naturales.
Nivel freático	Profundidad a la que se encuentran las aguas subterráneas. Este nivel baja en tiempo de estiaje y sube en etapas de lluvias.
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales.
PTARCS	Planta de tratamiento de aguas residuales construida en sitio.
PTARP	Planta de tratamiento de aguas residuales prefabricada.
Saneamiento ambiental	Una serie de medidas encaminadas a controlar, reducir o eliminar la contaminación, con el fin de lograr mejor calidad de vida para los seres vivos y especialmente para el hombre.

**Tratamiento de
aguas residuales**

Cualquier proceso, físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.

RESUMEN

El desarrollo urbano es parte de la realidad del mundo, la infraestructura urbana, las instituciones y los recursos naturales disponibles resultan a menudo insuficientes para responder al ritmo creciente de los nuevos proyectos. El agua es un recurso vital insustituible; su abastecimiento, localización y manejo presenta numerosos retos, los cuales deben ser enfrentados para satisfacer las crecientes demandas de estas nuevas áreas y el sostenimiento de las actuales.

El tratamiento de las aguas residuales es una necesidad y obligación de la sociedad de hoy, para proteger el medio ambiente y garantizar el bienestar humano; para esto se ha recurrido a sistemas de tratamiento que implican grandes inversiones económicas. En Guatemala el problema de la falta de tratamiento de las aguas residuales domésticas es mayor en el área rural que en las zonas urbanas, aunque en ambos casos es un tema que se ha venido discutiendo por la falta de conciencia ecológica en general.

Todo esto se traduce en impactos ambientales que incluyen la pérdida de calidad del agua, alta morbilidad por enfermedades de origen hídrico y degradación de los ecosistemas. Tomando en cuenta que en las ciudades hay muchos desechos que aún no están siendo tratados, o bien se encuentran con sistemas de tratamiento colapsados, mal operados o mal diseñados, lo cual ha contaminado de manera creciente y rápida los cuerpos de agua aledaños a las grandes poblaciones, que en algunos casos sirven de abastecimiento a las mismas.

Derivado de esta situación, en los últimos años se viene trabajando en la búsqueda de alternativas de sistemas de tratamiento eficientes y económicamente competitivos, que puedan solventar la problemática de entregar agua bien tratada y al menor costo posible y tiempo posible.

A razón de la evolución de los sistemas constructivos se han tenido ahora PTAR que pueden ser instaladas casi inmediatamente, estas siendo plantas prefabricadas, que agilizan la instalación, mismas que siendo bien diseñadas mantienen las mismas características de eficiencia que las construidas en sitio, no está demás mencionar que ninguna es mejor que la otra, pero que cada sistema a construirse debe ser elegido de acuerdo a las características del lugar, que en la mayoría de los casos son los que definen los diseños de estos sistemas de tratamiento.

Es prioritario entonces desarrollar metodologías encaminadas a aumentar la sostenibilidad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, para que los mismos no queden en el olvido y así mismo disminuir el impacto ocasionado por los vertimientos de agua contaminada.

OBJETIVOS

General

Elaborar un documento sobre comparación de costos entre sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas construidas en sitio y prefabricadas.

Específicos

1. Presentar información importante sobre los sistemas y procesos de tratamientos de aguas residuales.
2. Comparar los presupuestos y programación de obra para cada tipo de planta de tratamiento de aguas residuales evaluadas (construidas en sitio prefabricadas).
3. Señalar la importancia que la ingeniería civil tiene en la gestión ambiental de sistemas de tratamiento de aguas residuales.
4. Describir las ventajas y desventajas en el diseño y construcción de cada sistema de tratamiento.
5. Aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación académica en la Facultad de Ingeniería.

6. Identificar y priorizar los aspectos e impactos ambientales que pueda generar la construcción y operación de estos proyectos.
7. Elaborar un documento de apoyo al momento de ejecutar este tipo de proyectos.
8. Ofrecer al estudiante y profesional de la ingeniería civil un documento que sirva de referencia sobre el tema.
9. Conocer sobre los sistemas y procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas de uso común en Guatemala
10. Conocer la eficiencia del sistema de tratamiento de las diferentes plantas de tratamiento en estudio.
11. Elaborar por el método de PERT-CPM, la programación de sistemas de tratamiento de agua residual para el avance de ejecución de la obra.
12. Resaltar la importancia de que el ingeniero constructor entienda y participe en todas las fases del ciclo de vida de un proyecto, desde su diseño hasta su operación y mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

Debido a los efectos que produce la contaminación de los cuerpos de agua, es necesario reducir esta situación con la construcción de infraestructura adecuada (plantas de tratamiento de aguas residuales, PTAR). El grado de tratamiento que se da a las aguas residuales depende principalmente de las condiciones exigidas para el vertido del efluente, así como de la tecnología que el ingeniero civil pueda proponer como solución.

Es importante recalcar que la conciencia ecológica es hoy en día un tema que ha tomado auge y ha dejado de ser surrealista, debido a las necesidades y experiencias del mundo de hoy, bajo la contaminación en todo sentido que ha tenido la humanidad, hoy, el ingeniero civil ha comenzado a tomar un papel protagónico en este tema, debido a que los desarrolladores y/o dueños de los proyectos conciben el término de tratamiento de las aguas como una obligación impuesta y no una obligación moral para el sostenimiento de los abastecimientos de agua del ser humano, mismos que son los cuerpos receptores de los afluentes y/o efluentes de las aguas residuales.

Las tecnologías en el tratamiento de las aguas vertidas o residuales cada vez han ido en aumento, mediante estudios, ensayos, experimentos, pruebas, entre otras, que han ido naciendo frente a la necesidad obligada de entregar en mejores condiciones el agua utilizada, así como la disminución de los niveles freáticos, ríos, mares, lagos, cuerpos de agua que en la actualidad se han visto mermados y contaminados a tal grado que parecen ser irrecuperables. Parte de estas tecnologías se abordan con minuciosidad en el presente trabajo, haciendo énfasis en el tipo de material de construcción de la planta de tratamiento, siendo

estas prefabricadas o construidas en sitio, la cual trae como fin beneficiar al ingeniero constructor en la facilidad y rapidez de ejecución de sus proyectos, así como al inversionista ya que el tiempo es un sinónimo de dinero, y bajo un análisis bien estructurado se puede definir una tecnología para la construcción e instalación en el proyecto que pueda soportar dicha inversión y sobre todo mantener el principal objetivo, el tratamiento eficiente de las aguas servidas.

1. AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son el mayor contaminante de los cuerpos de agua a nivel mundial. En Guatemala muchos ríos y lagos se ven directamente afectados por estas vertientes sin tratar, sobre todo los que están cerca de las grandes ciudades.

1.1. Definición

- “Agua residual: agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella. No obstante, las aguas residuales de un usuario pueden servir de suministro para otro usuario en otro lugar. Las aguas de refrigeración no se consideran aguas residuales.”¹
- “Aguas residuales: aguas que contienen material disuelto y en suspensión, luego de ser usadas con fines doméstico, agrícola e industrial.”²
- “Aguas residuales: aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas”³

¹http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_residual. Consulta: marzo de 2014.

²VILLEGAS GALLON, Margarita María. *Gestión de los procesos de descontaminación de aguas residuales domésticas de tipo rural en Colombia*. p.3.

³Acuerdo Gubernativo 236-2006.

- “Aguas residuales domésticas: son las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.”⁴

1.2. Tipos

La clasificación se hace con respecto a su origen, ya que este es el que va a determinar su composición.

- Aguas residuales industriales: son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos, no sólo de una industria a otro, sino también dentro de un mismo tipo de industria.
- Aguas residuales domésticas: son las aguas residuales producidas por las actividades humanas relacionadas con el consumo de agua potable: lavado de platos, duchas, lavatorios, servicios sanitarios y similares. Su calidad es muy uniforme y conocida y varía un poco con respecto al nivel socioeconómico y cultural de las poblaciones.
- Aguas residuales urbanas: son los vertidos que se generan en los núcleos de población urbana como consecuencia de las actividades propias de éstos. Presentan una cierta homogeneidad cuanto a composición y carga contaminante, ya que sus aportes van a ser siempre los mismos; las características de cada vertido urbano van a depender del núcleo de población en el que se genere, influyendo parámetros tales

⁴<http://www.asagua.es/View/page/glosario-de-terminos>. Consulta: marzo de 2014.

como el número de habitantes, la existencia de industrias dentro del núcleo, tipo de industria, etc. Los aportes que genera esta agua son:

- Aguas negras o fecales
- Aguas de lavado doméstico
- Aguas provenientes del sistema de drenaje de calles y avenidas
- Aguas de lluvia y lixiviados

Actualmente la clasificación según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, “*Reglamento de las descargas y reúsos de aguas residuales y de la disposición de lodos*”, que rige los parámetros de descarga de aguas residuales en Guatemala, existen dos tipos:

- Aguas residuales de tipo especiales: las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas.
- Aguas residuales de tipo ordinario: las aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales como uso de servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado.

Figura 1. **Aguas residuales sin tratamiento**



Fuente: PTAR Condominio Villa Nueva. Noviembre de 2012.

1.3. Características

Las características claves de las aguas residuales domésticas que deben considerarse al momento de diseñar una PTAR incluyen el flujo (caudal) y las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, siendo las siguientes las más relevantes:

- El flujo de aguas residuales, comúnmente expresado en $\text{m}^3/\text{día}$, determina el tamaño o el volumen de agua que debe de tratar una PTAR.
- Las características físicas importantes incluyen sólidos, temperatura, color y olor.

- Los sólidos en suspensión contribuyen a la turbiedad y arrastres, siendo características físicas importantes que por lo general tienen que ser removidos mediante sedimentación o filtración.
- La temperatura de las aguas residuales es un parámetro importante, ya que afecta las reacciones químicas y biológicas y la solubilidad de gases, como el oxígeno, así como el crecimiento bacteriano.
- El color y olor sirven como indicadores del grado de contaminación de residuos, tomados en cuenta para determinar origen de las mismas.
- La demanda biológica de oxígeno (DBO₅) es un indicador de la cantidad de sustancias orgánicas de origen biológico y de productos químicos orgánicos, sintéticos y biodegradables en las aguas residuales, la cual determina el grado de contaminación.
- La demanda química de oxígeno (DQO) es un indicador de las sustancias biodegradables y no biodegradables.
- Las características químicas de las aguas residuales vienen definidas por sus componentes orgánicos, inorgánicos y gaseosos.
- El componente gaseoso de las aguas residuales contiene diversos gases en diferente concentración (oxígeno, ácido sulfhídrico, anhídrido carbónico, metano).
- Las características biológicas de las aguas residuales urbanas vienen dadas por una gran variedad de organismos vivos de alta capacidad

metabólica, y gran potencial de descomposición y degradación de la materia orgánica e inorgánica.

- Existen también las características microbiológicas, como patógenos contaminantes que pueden generar enfermedades, tales como coliformes fecales, E. Coli entre otros.

Tabla I. **Clasificación de contaminantes presentes en el agua**

CONTAMINANTES FISICOS	CONTAMINANTES QUIMICOS	CONTAMINANTES GASEOSOS	CONTAMINANTES BIOLÓGICOS
Color	Materia Orgánica	Anhídrido carbónico	bacterias
Olor y Sabor	pH	Metano	hongos
Grasas y aceites	Nitrógeno	Acido sulfhídrico	protozoos
Espumas	Fósforo		Algas
Radiactividad	Salinidad		Animales
Temperatura	Metales pesados		Plantas
Sólidos disueltos	detergentes		virus
Sólidos en suspensión	Compuestos tóxicos		

Fuente: <http://www.slideshare.net/juanmejiasm/tratamiento-de-aguas-residuales-10606298>.

Consulta: abril de 2014.

1.4. Tratamiento

Toda agua residual debe ser tratada, tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente; antes de tratar cualquier agua servida

se debe de realizar una caracterización completa del afluente. El tratamiento es un proceso en el cual se eliminan del agua las sustancias disueltas y suspendidas que contienen (físicoquímicas y microbiológicas), hasta obtener un efluente que pueda ser utilizado para fines agrícolas, recreativos o industriales o verterse a un cuerpo receptor con el fin de generar el mínimo impacto en el mismo.

Tabla II. **Biodegradabilidad del agua residual urbana según la relación DBO₅/DQO**

DBO₅/DQO	Biodegradabilidad del agua residual
0,4	Alta
0,2 – 0,4	Normal
0,2	Baja

Fuente: CENTA, Fundación. *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población*. Mejora de la calidad de los efluentes. p. 26.

El tratamiento físico de las aguas residuales separa principalmente los sólidos no biodegradables de manera mecánica, o puramente remoción física, como ocurre con los tamices o usa diferencias de densidad, como sucede en la sedimentación y flotación.

El tratamiento biológico utiliza la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales, como nutrientes de una población bacteriana, a la cual se le proporcionan condiciones para controlar la presencia de contaminantes.

El proceso de tratamiento del agua residual se puede dividir en cuatro etapas:

- Pre tratamiento: debe cumplir las siguientes funciones:
 - Medir y regular el caudal de agua que llega a la planta.
 - Extraer los sólidos flotantes grandes y la arena (a veces, también la grasa).
 - Extraer los sólidos no biodegradables, siendo los más comunes el plástico, papel, toallas sanitarias entre otros, así como flotantes grandes y la arena (a veces, también la grasa).

Figura 2. **Pretratamiento aguas residuales**



Fuente: PTAR San José Villa Nueva. Abril 2013.

- **Primario:** tiene como objetivo eliminar los sólidos en suspensión por medio de un proceso de sedimentación simple por gravedad o asistida por coagulantes y floculantes (para completar este proceso se pueden agregar compuestos químicos). En esta etapa se elimina por precipitación alrededor del 60 al 70 % de los sólidos en suspensión.
- **Secundario:** tiene como objetivo eliminar la materia orgánica en disolución y en estado coloidal, mediante un proceso de oxidación de naturaleza biológica seguido de sedimentación y desinfección, por medio de procesos aerobios, anaerobios o facultativos.
- **Terciario:** tiene como objetivo suprimir algunos contaminantes específicos presentes en el agua residual tales como los fosfatos. No todas las plantas tienen esta etapa ya que dependerá de la composición del agua residual y el destino que se le dará, así como de las leyes y parámetros que se deban de cumplir según la ubicación de la PTAR.
- **Cuaternario y Quíntario:** son procesos complejos, conllevan a la purificación final del agua tratada, altamente caros y con especificaciones para su operación, el agua residual se convierte prácticamente de nuevo en agua potable.

Figura 3. **Instalaciones tratamiento aguas residuales**



Fuente: <http://www.slideshare.net/juanmejiasm/tratamiento-de-aguas-residuales-10606298>.

Consulta: abril de 2014.

1.5. Gestión ambiental

Es el proceso orientado a resolver, mitigar y/o prevenir los problemas de carácter ambiental, con el propósito de lograr un desarrollo sostenible, entendido este como aquel que le permite al ser humano el desenvolvimiento de sus potencialidades y su patrimonio biofísico y cultural, garantizando su permanencia en el tiempo y en el espacio.

Compete a la gestión ambiental indagar acerca de los avances en materia de manejo de aguas residuales domésticas para aportar así a la sostenibilidad y a la calidad de vida de las poblaciones que habitan en estos proyectos. La gestión de los recursos hídricos es básica en el rompecabezas de la

sostenibilidad, en todas sus vertientes, consumo, ahorro, evacuación y tratamiento de las aguas residuales.

El manejo inadecuado de las aguas residuales puede tener consecuencias muy graves para la salud humana, el medio ambiente y el desarrollo económico. Los sistemas de depuración de bajo coste energético pueden ser una alternativa de tratamiento de las aguas residuales, necesitando pocos o nulos aportes energéticos externos.

La gestión ambiental permite a la empresa conocer mejor los mecanismos contaminantes del proceso de producción, tomar decisiones equilibradas sobre medidas ambientales a acometer, evitar soluciones temporales e inversiones no recuperables, y actuar de forma adecuada y tomando la iniciativa sobre los nuevos desarrollos medioambientales.

En el proceso de la gestión es importante conocer las características principales de los procesos de tratamiento a llevar a cabo según los contaminantes que puedan encontrarse, así mismo, las particularidades de las unidades propuestas para dichos procedimientos y la funcionalidad de cada una de los elementos que componen los sistemas de tratamiento y poder garantizar el funcionamiento y eficiencia de los mismos.

Las empresas y los habitantes de viviendas, deben de estar conscientes que esta gestión es imprescindible en cualquier proyecto o desarrollo, a manera de conocer los efectos que este puede provocar y la manera de poder controlarlos para poder mantener un equilibrio y no afectar el entorno del proyecto.

2. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Existen diferentes tipos de sistemas de tratamiento para las aguas residuales domésticas, los mismos deben de ser estudiados de acuerdo a las características intrínsecas de cada proyecto para poder adecuar o proponer uno específicamente para cada desarrollo

2.1. Definición

“Las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, tanto aeróbicas como anaeróbicas, son un conjunto de estructuras o sistemas compuestos por varias operaciones y procesos unitarios, diseñadas y equipadas convenientemente para lograr que las aguas servidas provenientes de: casas, edificios, locales comerciales, centros recreacionales, parques y centros hospitalarios, que entran al sistema a través de la red cloacal, sean depuradas hasta alcanzar un grado de limpieza que permita su evacuación o reutilización sin riesgos para la salud humana y el medio ambiente, cumpliendo así con la normativa legal vigente.”⁵

2.2. Clasificación

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales tienen como función crear un hábitat cómodo y saludable para los habitantes de una ciudad que les proporcione bienestar y calidad de vida. Además protegen el medio ambiente al

⁵ MARTINEZ, Freddy Aníbal. *Descripción de los tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas*. p 47.

permitir un proceso de tratamiento para las aguas residuales y devolver así a la naturaleza agua limpia, sin contaminantes y en mejores condiciones.

Existen diferentes sistemas y procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas que van desde un tratamiento primario hasta un terciario; en los últimos años ha existido un crecimiento en la construcción y capacidad de diseño a nivel nacional. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son seleccionados de acuerdo a los objetivos que se fijan al buscar la remoción de los contaminantes.

Los diferentes sistemas de tratamiento implican procesos físicos, biológicos y fisicoquímicos, y en ocasiones se presentan todos. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales se integran por los siguientes elementos:

- El sistema de alcantarillado sanitario
- Planta de tratamiento de aguas residuales
- Tratamiento de lodos
- Sistemas de recuperación/aprovechamiento de aguas tratadas

Al momento de diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se debe considerar las características del sitio, tales como topografía, suelos, geología, hidrología, clima y uso del terreno. El uso del terreno puede afectar el área disponible para una planta, lo que a su vez puede afectar la selección de opciones de procesos de tratamiento.

La selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales, o de la combinación adecuada de ellos, depende principalmente de:

- Las características del agua cruda
- La calidad requerida del efluente
- Los costos de construcción y operación del sistema de tratamiento
- La confiabilidad del sistema de tratamiento
- La facilidad de optimización del proceso para satisfacer requerimientos futuros más exigentes.

2.2.1. Según sistema constructivo

El éxito en la selección o diseño de un sistema (o planta) de tratamiento de aguas residuales radica en la simplicidad y economía del diseño y el sistema constructivo; de ahí la importancia de contar con sistemas de tratamiento de aguas residuales bien diseñados y de fácil manejo y construcción.

Un sistema constructivo es el conjunto de materiales y componentes de diversa complejidad, combinados racionalmente y enmarcados bajo ciertas técnicas, que permiten realizar las obras necesarias para el tratamiento de las aguas residuales.

2.2.1.1. Construidas en sitio

Alternativo al uso de plantas compactas de tratamiento existe la posibilidad de construir una planta de tratamiento adecuada para algún lugar en específico. De acuerdo al método y procesos de tratamiento en cada caso, se pueden utilizar los siguientes sistemas:

- Concreto armado convencional
- Muros de bloques de mampostería
- Lagunas de oxidación (con y sin aeración)

- Canales de oxidación con aeración
- Torres en módulos prefabricados para espacios pequeños
- Plantas unifamiliares

Figura 4. **Planta de tratamiento construida en sitio**



Fuente: Proyecto municipio Fraijanes. PTAR 2011.

2.2.1.2. Prefabricadas

Actualmente se encuentran disponibles en el mercado plantas conocidas como plantas compactas, estas son plantas prefabricadas para el tratamiento de aguas residuales. Es frecuente el uso de plantas prefabricadas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, estando disponibles para diferentes valores de caudales; si el dimensionamiento y el mantenimiento son adecuados estas plantas producen resultados satisfactorios.

Las plantas de tratamiento prefabricadas producen efluentes de excelente calidad provenientes de aguas residuales de tipo doméstico e industrial.

- Las plantas de tratamiento de aguas residuales prefabricadas, son sistemas de tratamiento que incluyen todas las unidades necesarias para su funcionamiento; además de ser adecuadas para el tratamiento de diversos tipos de aguas residuales (domésticas, industriales); los tamaños de los tanques y caudales internos se diseñan en forma personalizada para satisfacer los requerimientos de tratamiento del agua residual.
- El material de las mismas puede variar de acuerdo a los costos y disponibilidad, las más comunes en nuestro medio son de material plástico, pvc, polietileno, fibra de vidrio reforzada.

Figura 5. **PTAR prefabricada (A)**



Fuente: Proyecto PTAR Honda Z. 10 Guatemala 2009.

- La planta móvil para tratamiento de aguas residuales es una planta completa en una caja, todo cuanto es necesario para el tratamiento está incluido en una sola unidad, es un sistema del tipo “conecte y arranque” que es muy sencillo de operar y mantener. Debido a su poco peso, se puede transportar fácilmente en un camión-grúa a cualquier lugar, se puede reutilizar varias veces en distintos sitios y para diferentes casos como: obras en construcción, eventos temporales del tipo cultural y social y emergencias nacionales.

Figura 6. **PTAR prefabricada (B)**



Fuente: Proyecto PTAR fibra de vidrio Costa Rica 2011.

2.2.2. Según proceso

La remoción de materia orgánica constituye uno de los objetivos del tratamiento de las aguas residuales, utilizándose en la mayoría de los casos procesos biológicos. El mecanismo más importante para la remoción de la materia orgánica presente en el agua residual, es el metabolismo bacteriano.

Tabla III. Valores eficiencia típica de remoción

TABLA 11-33 EFICIENCIAS TÍPICAS DE REMOCIÓN							
Unidades de tratamiento	Eficiencia en la remoción de constituyentes, porcentaje						
	DBO	DQO	SS	P	N org	NH ₃ - N	Patógenos
Rejillas	Despl	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Desarenadores	0 – 5	0 – 5	0 – 10	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Sedimentación primaria	30 – 40	30 – 40	50 – 65	10 – 20	10 – 20	0	Desp.
Lodos activados (convencional)	80 – 95	80 – 95	80 – 90	10 – 25	15 – 20	8 – 15	Desp.
Filtros percoladores							
Alta tasa, roca	65 – 80	60 – 80	60 – 85	8 – 12	15 – 50	8 – 15	Desp.
Supertasa, plástico	65 – 85	65 – 85	65 – 85	8 – 12	15 – 50	8 – 15	
Cloración	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	100
Reactores UASB	65 – 80	60 – 80	60 – 70	30 – 40	-	-	Desp.
Reactores RAP	65 – 80	60 – 80	60 – 70	30 – 40	-	-	Desp.
Filtros anaerobios	65 – 80	60 – 80	60 – 70	30 – 40	-	-	Desp.
Lagunas de oxidación							
Lagunas anaerobias	50 – 70	-	20 – 60	-	-	-	90-99.99
Lagunas aireadas	80 – 95	-	85 – 95	-	-	-	90-99.99
Lagunas facultativas	80 – 90	-	63 – 75	30	-	-	90-99.99
Laguna de maduración	60 – 80	-	85 – 95	-	-	-	90-99.99
Ultravioleta	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	100

Fuente: <http://www.unh.edu.pe/facultades/fca/escuelas/agroindustrias/biblioteca/PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES>. Consulta: abril de 2014.

La depuración de las aguas residuales se lleva a cabo a través de varios procesos, entre de los cuales está el tratamiento aerobio, el anaerobio una combinación de ambos, y estos a su vez se ejecutan mediante la aplicación de las operaciones y procesos unitarios. En el diseño de las plantas de tratamiento prefabricadas de aguas residuales domésticas las unidades se basan en tecnologías simples, probadas para alcanzar el tratamiento de las aguas residuales. Los sistemas de tratamiento se identifican de acuerdo al principio de operación (ej. lodos activados, zanjas de oxidación, lagunas anaerobias, película fija, filtros percoladores, etc.).

Tabla IV. **Selección de los procesos de tratamiento de las aguas residuales**

Proceso de tratamiento	Remoción (%)		Remoción (ciclos log10)	
	DBO	Sólidos en suspensión	Bacterias	Helminos
Sedimentación primaria	25-30	40-70	0-1	0-1
Lodos activados (a)	70-95	70-95	0-2	0-1
Filtros percoladores (a)	50-90	70-90	0-2	0-1
Lagunas aireadas (b)	80-90	(c)	1-2	0-1
Zanjas de oxidación (d)	70-95	80-95	1-2	0-1
Lagunas de estabilización(e)	70-85	(c)	1-6	1-4

(a) precedidos y seguidos de sedimentación

(b) incluye laguna secundaria

(c) dependiente del tipo de lagunas

(d) seguidas de sedimentación

(e) dependiendo del número de lagunas y otros factores como: temperatura, período de retención y forma de las lagunas.

Fuente: <http://www.unh.edu.pe/facultades/fca/escuelas/agroindustrias/biblioteca/PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES>. Consulta: abril de 2014.

2.2.3. Según forma de funcionar

El diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales se relaciona estrechamente con el lugar en el que se pretende instalar. La actual situación de escasez del recurso agua, requiere en la actualidad una gran cantidad de profesionales capaces de proyectar, construir, operar y mantener estas infraestructuras de vital importancia para la sociedad.

Estos sistemas de tratamiento se pueden clasificar de acuerdo a los métodos utilizados para el tratamiento de aguas residuales:

- Sistemas mecanizados y/o electromecánicos (generalmente usan energía).
- Sistemas no mecanizados (por gravedad)

2.2.3.1. Sistema por gravedad

Se dice por gravedad porque el agua circula por sí misma, desde el ingreso hasta su disposición final por medio de la red; no requieren ningún tipo de bombeo para que el agua llegue hasta su disposición final. La topografía debe ser adecuada para que el sistema de la planta funcione por gravedad.

En estos sistemas la diferencia de nivel debe de ser tal que permita la conducción del caudal a pendientes y velocidades dentro de las normas establecidas.

2.2.3.2. Sistema por energía

En este tipo de sistemas la energía es necesaria para extraer, distribuir y tratar el agua usada y contaminada; como consecuencia de la estrecha relación entre agua y energía, el diseño y operación de los sistemas de agua y de aguas residuales, deben considerar aspectos energéticos.

La necesidad de energía en los sistemas de tratamiento de aguas residuales se puede deber a las siguientes situaciones:

- Condiciones topográficas
- Transporte y/o bombeo de aguas residuales
- Elección de planta de lodos activados (equipos de aireación), lo cual puede deberse a la cercanía de viviendas o por el área reducida que se tiene para la ubicación de la planta de tratamiento.

El tratamiento de aguas residuales domésticas mediante procesos biológicos es uno de los más difundidos, lo que puede requerir inyectar aire al sistema: el consumo de energía eléctrica llega a representar el principal costo por concepto de operación de las plantas, cuando el proceso recurre a la aireación para realizar su función.

En la actualidad se debe hacer énfasis especial en este rubro, si se toma en cuenta la frecuente escasez de recursos económicos para mantener en operación un sistema de tratamiento, que casi siempre es considerado como una carga para el usuario y por cuyo mantenimiento no se obtiene aparentemente ningún beneficio económico directo. Los procesos de bajo consumo energético deberán ser favorecidos en la elección.

2.3. Instalaciones y equipo

El concepto de la tecnología en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, abarca dimensiones técnicas, institucionales, sociales y económicas. Desde un punto de vista técnico e institucional la selección de tecnologías no apropiadas, ha sido identificada como una de las principales causas de fallas en el sistema.

El ambiente de las aguas servidas es hostil para el equipo electrónico, eléctrico y mecánico; su mantenimiento es un proceso sin fin, y requiere de apoyo (repuestos, servicios mayores y menores, laboratorios, técnicos capacitados, asistencia técnica especializada, y presupuestos adecuados). Aun en los países desarrollados, son los sistemas más sencillos, elegidos y diseñados con vista al mantenimiento, los que brindan un servicio más confiable. En los países en desarrollo, donde es posible que falten algunos ingredientes para un programa exitoso de mantenimiento, esta debe ser la primera consideración al elegir tecnologías para las plantas de tratamiento y estaciones de bombeo.

La economía forma parte de la decisión de dos maneras; no es sorprendente que las tecnologías más sencillas, seleccionadas por su facilidad de operación y mantenimiento, suelen ser las menos costosas para construir y operar. Sin embargo, aun cuando no lo sean, como puede ser el caso cuando gran cantidad de tierra debe ser adquirida para los estanques de estabilización, un sistema menos costoso que fracasa, finalmente sería más costoso que otro más caro que opera de manera confiable.

A continuación se presentan algunos equipos de uso en sistemas de tratamiento de aguas residuales:

- Bombas: tipos centrifugas, tornillo Arquímedes, de hélice, bombas de membrana, bombas peristálticas.
- Equipos desbaste: rejas y rejillas, tamices con y sin extracción, rototamices.
- Equipos para agitación, mezcla y circulación de agua: agitadores, circuladores de flujo.

- Sistemas para aireación: turbinas superficiales, rotores superficiales, aireadores sumergibles, bombas eyectoras, difusores, sopladores rotativos o centrifugas.
- Decantadores y espesadores: decantadores para agua residual, sistemas de recolección de lodo, espesadores por gravedad y por flotación.
- Deshidratación de lodos: espesadores mecánicos, filtros prensa.
- Equipos auxiliares: lavadores de arena, concentradores de grasas y flotantes, tornillos transportadores y compactadores, transportadoras, silos y tolvas.
- Instalaciones especiales: dosificación reactivos, desodorización y tratamiento de gases.

Tabla V. **Secuencia manejo del agua residual urbana**

Tipo de tratamiento	Tipo de proceso de tratamiento	Tipo unidad/fase	Objetivos
Pretratamiento	Procesos físicos	<ul style="list-style-type: none"> • Cribado y tamizado • Dilaceración • Desarenación • Desengrasado • Homogeneizado 	<ul style="list-style-type: none"> • Retención de sólidos gruesos flotantes. • Reducción de tamaños de sólidos • Separación de arena, grasas y aceites. • Homogenizar el caudal y concentración del agua.

Continuación de la tabla V.

Tratamiento primario	Procesos físicos y químicos	<ul style="list-style-type: none"> • Sedimentación • Flotación • Floculación • Neutralización 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de DBO₅ • Reducción de sólidos en suspensión
Tratamiento secundario	Procesos biológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso anaerobios y aerobios • Manejo de desechos sólidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de DBO₅ de 70 – 90%. • Reducción de sólidos totales en un 90%.
Tratamiento terciario	Procesos químicos	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación de contaminantes no biodegradables • Eliminación de nutrientes 	<ul style="list-style-type: none"> • Separación de los contaminantes orgánicos no biodegradables y los nutrientes minerales.
Desinfección	Procesos físicos y químicos	Desinfección química y física.	Eliminación de microorganismos patógenos.

Fuente: elaboración propia.

En general los equipos con los que puede contar un sistema de tratamiento dependerán de la sofisticación de la misma y/o automatización que sea necesaria, sumado a las características de inversión según la población o proyecto a servir (ya que los costes de mantenimiento son directamente proporcionales a la cantidad y complejidad de los equipos) y a las características fisicoquímicas a tratar.

3. GESTIÓN AMBIENTAL SISTEMAS DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES

Parte importante de cada proyecto es involucrar en la gestión ambiental los sistemas de aguas residuales en el mismo, es decir, tener el conocimiento y asesoría necesaria para orientar al desarrollador en este proceso de decisión.

3.1. Definición

“La gestión ambiental de los sistemas de tratamiento aguas residuales es una estrategia para abordar los impactos ambientales de las actividades necesarias para su operación, teniendo en cuenta las condiciones locales, mejorando con ello el comportamiento integral de los proyectos.”⁶

3.2. Antecedentes

La disponibilidad de servicios de saneamiento es un importante indicador de la calidad de vida de una población y una condición indispensable para alcanzar el desarrollo sostenible. En los últimos años se ha incrementado la cobertura de agua potable y alcantarillado para los hogares, sobre todo urbanos, sin embargo el tratamiento de las aguas usadas por la población no ha aumentado en la misma proporción.

⁶MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Medio Rural y Marino. *Mejores técnicas disponibles de referencia europea. Sistemas de gestión y tratamiento de aguas y gases residuales en el sector químico.* p. 32.

Los proyectos de aguas residuales son ejecutados a fin de evitar o aliviarlos efectos de los contaminantes que contienen en cuanto al ambiente humano y natural. Cuando son ejecutados correctamente, su impacto total sobre el ambiente puede ser positivo.

“En el año 2000, las Naciones Unidas han establecido que 2.64 mil millones personas tenían el tratamiento y/o disposición de las aguas residuales inadecuado. Este valor representó al 44 por ciento de la población global, pero en África y Asia aproximadamente la mitad de la población no tenía ningún acceso cualesquiera a los servicios del tratamiento de aguas residuales.”⁷

Se puede establecer entonces que los recursos para el tratamiento de aguas residuales en Centroamérica han sido bajos comparados con los destinados a proyectos de agua potable. Esto se debe a la falta de un buen manejo de excretas y las aguas residuales debido a la falta de conocimiento y experiencia en el uso de las diferentes tecnologías disponibles en el mercado.

Tabla VI. **Manejo de aguas residuales domésticas en Centroamérica**

País	Población con acceso a agua urbana/rural, %	Población con acceso a letrina o alcantarillado sanitario urbana/rural, %	Efluente de alcantarillado sanitario con tratamiento, %
Belice	100/81	71/25	57
Costa Rica	99,6/92,0	89/97	4
El Salvador	92/25	86/50	2
Guatemala	98/70	94/71	1
Honduras	94/70	94/50	3
Nicaragua	95/34	93/56	34
Panamá	88/86	99/86	18

Fuente:http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/085_guia_aguas_residuales/guia_aguas_residuales%20PROARCA%202004.pdf. Consulta: abril de 2011.

⁷ http://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_de_aguas_residuales. Consulta: marzo de 2014.

3.3. Regulaciones aplicables

En cualquier proyecto las normas establecen las disposiciones, las especificaciones y los métodos de prueba que permiten garantizar que los productos y servicios ofertados a los organismos operadores de sistemas de agua residuales, cumplan con el objetivo de aprovechar, preservar en cantidad y calidad y manejar adecuada y eficientemente el agua.

3.3.1. Nivel internacional

En la actualidad se tiene una importante crisis en el ámbito de los recursos hídricos tanto desde el punto de vista cuantitativo como cualitativo; por esta razón la mayoría de los países industrializados han desarrollado diversas normas con el objetivo de proteger los ecosistemas acuáticos y reflejar el verdadero valor del agua.

- Normas de la OMS, referente a la calidad del agua: indica las guías referentes a la calidad de agua potable, responsabilidades y mitigación de riesgos; además indica los diferentes patógenos que son transmitidos por el agua. Establece los mecanismos o procedimientos a seguir en situaciones de emergencia y catástrofes referentes a agua envasada, sistemas de desalinización, transformación de alimentos, salubridad en grandes edificios.
- Normas de la EPA (*Environmental Protection Agency USA*): establece los mecanismos de protección para el suministro de agua potable, informa sobre contaminantes en agua potable, plantas de tratamiento de aguas de residuos sólidos y protección de aguas subterráneas.

3.3.2. Nivel nacional

- Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”, Acuerdo Gubernativo No.236-2006.
- Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental, Acuerdo Gubernativo 23-2003, del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
- Decreto No. 68-89, Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, del Congreso de la República de Guatemala, artículo 8.
- Decreto No. 45-79, Código de Salud. Artículos 26, 36
- Decreto 33-96, Código Penal
- El Código Civil, Decreto Ley 106
- Constitución Política de la República de Guatemala. Artículo 97: Medioambiente y equilibrio ecológico.

3.4. Herramientas de gestión ambiental

Los instrumentos (herramientas) de gestión ambiental son mecanismos operativos específicos que se diseñan, implementan y utilizan para alcanzar los objetivos de la política, las normas y regulaciones ambientales. La gestión ambiental se basa en dos herramientas para llevar a cabo sus funciones y objetivos, estas son los estudios de impacto ambiental, y el desarrollo de auditorías ambientales.

Los medios utilizados en la gestión ambiental están constituidos por un conjunto de instrumentos preventivos, correctivos, recuperadores, regenerativos, y compensativos. La planificación ambiental está referida a la elaboración de programas que buscan enmarcar el desarrollo posterior de acciones; así mismo puede hacer uso de las propiedades de la planificación estratégica, a fin de optimizar sus labores y el cumplimiento de sus objetivos.

3.5. Aspectos ambientales

Un sistema de tratamiento de aguas residuales lleva a la definición de dos áreas de influencia del proyecto:

- Área de influencia directa, relacionada con las viviendas que se localizan en forma inmediatamente contigua a los terrenos en que se emplazará el sistema de tratamiento, y el cuerpo receptor de las aguas tratadas en la zona del punto de descarga.
- Área de influencia indirecta, referida al sector y el cuerpo receptor localizado aguas abajo de la descarga.

3.5.1. Definición

Son los elementos de las actividades, productos y/o servicios de la entidad o proyecto, que pueden interactuar con el medio ambiente. Los A/A significativos son los que tienen un efecto o impacto ambiental significativo.

3.5.2. Tipos

Los métodos para evaluar los aspectos ambientales significativos se dividen en cualitativos y cuantitativos, su selección se relaciona con el grado de complejidad de la empresa, información disponible en el medio, impactos del proyecto durante su vida útil.

3.5.3. Impactos ambientales

Los principales contaminantes de las aguas residuales domésticas, son los sólidos suspendidos y disueltos que consisten en: materias orgánicas e inorgánicas, nutrientes, aceites y grasas, sustancias tóxicas, y microorganismos patógenos.

Cuando las aguas residuales son recolectadas pero no tratadas correctamente antes de su eliminación o reutilización, existen los mismos peligros para la salud pública en las proximidades del punto de descarga:

- Si la descarga es en aguas receptoras, se presentarán peligrosos efectos adicionales (p.ej. el hábitat para la vida es afectada por la acumulación de los sólidos; el oxígeno es disminuido por la descomposición de la materia orgánica; y los organismos pueden ser perjudicados aún más por las sustancias tóxicas, que pueden extenderse hasta los organismos superiores por la bioacumulación en las cadenas alimenticias).
- Si la descarga entra en aguas confinadas, como un lago o una bahía, su contenido de nutrientes puede ocasionar la eutrofización, con el aumento de la vegetación que puede afectar a las pesquerías y áreas recreativas.

- Los desechos sólidos generados en el tratamiento de las aguas servidas (grava, cerniduras, y lodos primarios y secundarios) pueden contaminar el suelo y las aguas si no son manejados correctamente.

Los impactos directos incluyen la disminución de molestias y peligros para la salud pública en el área de servicio, mejoramientos en la calidad de las aguas receptoras, y aumentos en los usos beneficiosos de las aguas receptoras.

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

También se presentan varios potenciales impactos positivos los que pueden ser incorporados cuantitativamente en el análisis de los costos y beneficios de varias alternativas al planificar proyectos para las aguas servidas (empleos, beneficios para la salud humana, beneficios provenientes de proporcionar lotes con servicios).

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

Las instalaciones de tratamiento requieren tierra; su ubicación puede resultar en la repoblación involuntaria. Es más, las obras de tratamiento y eliminación pueden crear molestias en las cercanías inmediatas, al menos ocasionalmente.

3.5.4. Medidas de mitigación

Son el conjunto de acciones de prevención, control, atenuación, restauración y compensación de impactos ambientales negativos que deben acompañar el desarrollo de los proyectos de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, para asegurar el uso sostenible de los recursos naturales y la protección del medio ambiente.

Dentro de las medidas de mitigación se encuentran:

- Un buen diseño del sistema de tratamiento
- Una buena construcción
- Una constante y consciente operación y mantenimiento de los sistemas
- Un plan de emergencia
- Un plan de limpieza y tren de aseo
- Asesoría profesional

Las medidas de mitigación pueden ser de implementación previa, simultánea o posterior a la ejecución del proyecto o acción.

4. EVALUACIÓN CASO PRÁCTICO

Se evalúan a continuación los dos sistemas de tratamiento construidos en Guatemala, tanto la planta de tratamiento prefabricada como la construida en sitio, a manera de tener datos reales de estos sistemas.

4.1. Antecedentes

La generación de aguas residuales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas; el vertido de aguas residuales no tratadas supone riesgos para la salud pública; por esta razón es importante que se implementen y operen de manera adecuada, sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Para la definición del caso práctico a evaluar en este trabajo, se consideraron las siguientes instalaciones ubicadas en la ciudad de Guatemala:

- Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas construida en el sitio del proyecto (PTARCS).
- Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas prefabricada (PTARP).

4.2. Método aplicado

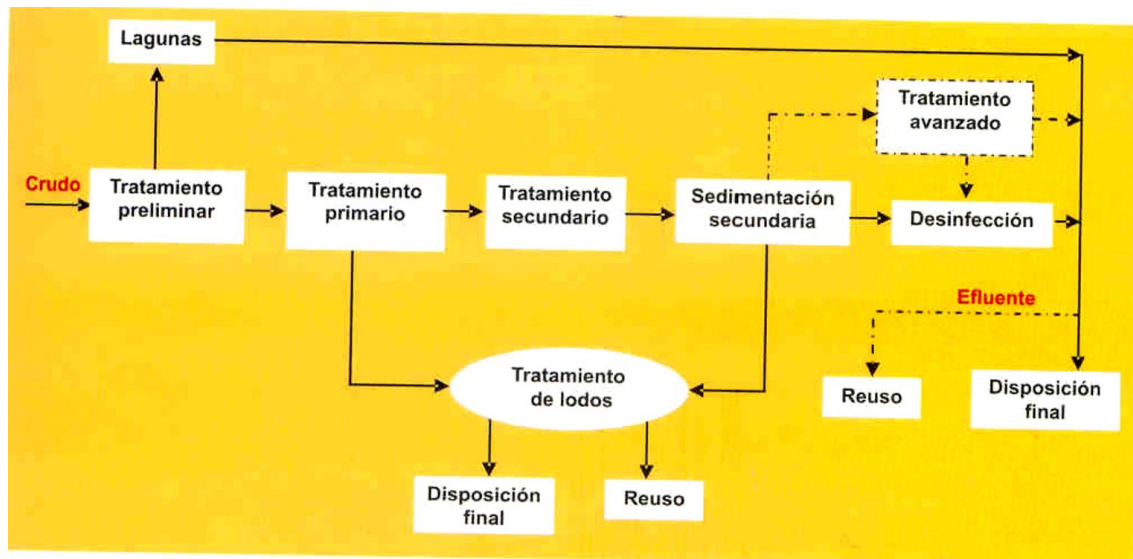
De acuerdo a lo establecido se implementó una metodología que permitiera alcanzar los objetivos planteados.

4.2.1. Descripción

Para la evaluación y diseño de PTAR son básicos conocimientos técnicos, experiencias prácticas son necesarias en la selección y análisis de los procesos de tratamiento.

Preliminarmente se recopiló la información existente y de interés para el trabajo (textos, artículos de revista, artículos en Internet); además se realizaron actividades de gabinete y campo las que incluyeron visitas, entrevistas y uso de medios auxiliares, así como la tabulación y el análisis de la información recopilada.

Figura 7. Diagrama de flujo típico. Tratamiento de aguas residuales



Fuente: TERRY BERRO, Carmen C. *Manejo de aguas residuales en la gestión ambiental.* p.

4.3. Diagnóstico

El tratamiento de las aguas residuales es realizado con el propósito de evitar la contaminación física, química, bioquímica, biológica y radioactiva de los cursos y cuerpos de agua receptores. Al final se analizaron los principales factores que influyen en la selección de la tecnología en cada caso, identificándose similitudes y diferencias entre ellos, características particulares, principios de funcionamiento, ventajas y desventajas al igual que su aplicabilidad en cada proyecto.

Los principales elementos que intervienen en la selección de los procesos de tratamiento son:

- Necesidad del cliente, experiencias previas
- Requerimientos de la calidad del agua residual tratada por parte de la agencia reguladora.
- Selección y análisis de las operaciones y procesos unitarios
- Compatibilidad con las facilidades existentes
- Costo
- Consideraciones ambientales
- Calidad de las aguas residuales
- Área disponibles para su ubicación
- Capacidad de mantenimiento y operación de parte de los usuarios
- Accesibilidad y tiempos de ejecución limitados
- Otras consideraciones

4.4. Actividades de campo

Se incluyen todas aquellas actividades que fueron realizadas durante el trabajo de campo que se desarrolló.

4.4.1. Generalidades

El diseño eficiente y económico de una planta de tratamiento de aguas residuales requiere de un cuidadoso estudio basado en aspectos, tales como: el caudal (m^3/s), el uso final del producto final (agua tratada), el área disponible para la instalación, la viabilidad económica, características meteorológicas (clima, precipitación). Llevar un control adecuado de la productividad nos permite controlar el adecuado uso de la mano de obra, equipos y materiales así como tomar decisiones y acciones correctivas.

Dentro del proceso de la planificación para la construcción de una planta de tratamiento se debe considerar los mecanismos que permitan aumentar la confiabilidad de las programaciones disminuyendo la variabilidad en el sistema. El planeamiento de los plazos del proyecto debe garantizar que se termine el proyecto dentro del plazo contractual para ello se debe considerar una planificación de las actividades previas o preliminares, cronograma general de actividades y cronograma de recursos.

Se evaluaron plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, que utilizan el proceso de lodos activados en el tratamiento, por tener un amplio uso y un funcionamiento eficiente en países como Guatemala.

4.4.2. Alcance

Las actividades ejecutadas permitieron realizar la comparación técnica y económica entre una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas prefabricada y una construida en sitio, ambas con una capacidad de tratamiento de 25m³d; se incluyen aspectos técnicos, económicas, programación de obra, personal, operación y mantenimiento. El alcance de este proyecto está directamente relacionado con las características de cada PTAR evaluada,

El trabajo de investigación de campo es también conocido como investigación *in situ* ya que se realiza en el propio sitio donde se encuentra el objeto de estudio; ello permite el conocimiento más a fondo del investigador ya que puede manejar los datos con más seguridad.

4.4.3. Medios utilizados

La investigación no tiene sentido sin las técnicas de recolección de datos necesarias, cada tipo de investigación determinara las técnicas a utilizar y cada técnica establece sus herramientas, instrumentos o medios que serán empleados.

Las técnicas de investigación de campo son aquellas que le sirven para relacionarse con el objeto y construir por sí mismo la realidad estudiada. Para alcanzar los objetivos planteados se utilizaron las siguientes herramientas auxiliares para el trabajo desarrollado.

4.4.3.1. Visitas

La visita es la técnica a través de la cual se tiene contacto directo con el proyecto o persona. Dentro del trabajo se realizaron varias visitas a diferentes proyectos relacionados con el tema del estudio, lo que facilitó obtener la información necesaria.

La observación es una práctica que se utiliza tanto en los métodos cuantitativos como en los cualitativos, observar no solo significa ver con los ojos, sino con todos los sentidos; es un elemento fundamental de todo proceso investigativo.

La observación directa, es la inspección que se hace directamente a un fenómeno dentro del medio en que se presenta, a fin de contemplar todos los aspectos inherentes a su comportamiento y características dentro de ese campo.

4.4.3.2. Entrevistas

La entrevista es una técnica de recopilación de información mediante una conversación profesional, se caracteriza por su aplicación interpersonal o "cara a cara"; se utiliza con el fin de obtener información en forma amplia y detallada, puede ser estructurada o no estructurada (esta última también llamada entrevista "libre").

El tipo de entrevista realizado fue de investigación y/o indagación, escogiéndose de manera particular a las personas entrevistadas ya que la calidad de la información estuvo directamente relacionada con su conocimiento y experiencia.

4.5. Comparación de costos

Un proyecto de construcción requiere de una adecuada planificación y control de proyectos de modo de garantizar el éxito del mismo; la programación del proyecto debe garantizar que se termine la obra antes del plazo contractual, para ello se debe considerar una planificación de las actividades, cronograma general de actividades y cronograma de recursos.

Para garantizar el buen desempeño del proyecto es importante definir las actividades que se deben realizar antes de iniciar con la ejecución del mismo. La planificación es el proceso que permite conocer por adelantado los trabajos necesarios para alcanzar los objetivos de un proyecto; una de las tareas más difíciles en la planificación es la medición del lapso de duración de las actividades.

El cronograma del proyecto es la representación gráfica de la planificación del tiempo en el proyecto ya sea en forma de tabla, diagrama de red, de barras, donde se presenta la información sobre la fecha de inicio y finalización programada del proyecto; es un proceso interactivo.

Se incluyen las actividades que se van a ejecutar, se identifican los recursos a emplear en donde se define la cantidad aproximada de mano de obra, equipos y materiales a emplearse de modo de garantizar el cumplimiento del alcance del proyecto en el plazo previsto en el planeamiento general.

- Costos energía eléctrica: el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos obliga a inyectar aire al sistema. El consumo de energía eléctrica llega a representar el principal costo por concepto de operación de las plantas, cuando el proceso recurre a la aireación para

realizar su función. Se estima que puede representar hasta el 75 % del costo total de la operación de una planta de tratamiento.

- Costo de químicos: en general, la utilización de reactivos o agentes químicos en la mayor parte de los procesos de tratamiento del país se limita a la desinfección del efluente tratado. La desinfección tiene por objeto reducir los coliformes fecales hasta menos de 1000 NMP/100 ml en el agua tratada. Los principales agentes desinfectantes utilizados son cloro gas, hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio.
- Costo personal: se considera al personal de dirección del proyecto, equipos, alimentación, gastos financieros, procura, etc.

Los costos están integrados en renglones, los renglones contienen varias actividades implícitas que en conjunto generan el costo global de dicho renglón. Para el desarrollo del cronograma general de actividades se ha considerado lo siguiente:

- Definición de principales actividades a ejecutar
- Secuencia de actividades
- Estimación de la duración de las actividades
- El desarrollo del cronograma se ha realizado en base a la información disponible.
- Determinar el cronograma del proyecto
- Disponibilidad de materiales y mano de obra
- Fabricación y tiempos de ejecución reales

4.5.1. Planta de tratamiento de aguas residuales prefabricada (PTARP)

Sirve para tratar las aguas residuales procedentes de viviendas, el objeto de la PTAR es depurar (o tratar) el agua residual de la cocina, los baños, el lavado de ropas, etc. generada por los habitantes de una vivienda promedio. A continuación se presentan las principales características técnicas de la PTARP evaluada:

- Ubicación: ciudad de Guatemala
- Tipo de aguas residuales a tratar: domésticas, procedentes de viviendas
- Capacidad tratamiento: 25m³d
- Sistema constructivo /materiales: fibra de vidrio reforzada

Figura 8. Vista PTARP evaluada



Fuente: Proyecto planta prefabricada ciudad de Guatemala 2014.

- Cumplimiento de la legislación ambiental: la PTAR cumple con las normas de Guatemala, permitiendo garantizar así una buena calidad del agua tratada.
- Tipo de tratamiento: aireación extendida (lodos activados); es un sistema simple, basado en procesos físicos y biológicos. El proceso es de alta eficiencia presentando una buena calidad de agua tratada.
- Mantenimiento: hecho por personal calificado una vez al año; incluye la purga de lodos hasta un sitio apropiado, la revisión del sistema de aireación, los componentes eléctricos y mecánicos de la planta, la medición del contenido de biomasa y su ajuste respectivo. Incluye también el mantenimiento de los equipos de aireación y bombeo, tanto mayor como menor.

El mantenimiento menor anual se desglosa de la siguiente manera:

- Por bomba de 0,5 o 1,0 hp
 - Cambio de aceite dieléctrico
 - Cambio de sello mecánico
 - Accesorios
- Por aireador
 - Cambio de aceite
 - Pintura
 - Mano de obra

- Revisión sello (no cambio)
- Extracción y limpieza

El mantenimiento mayor al año se desglosa de la siguiente manera:

- Por bomba de 0,5 o 1,0 hp
 - Cambio de aceite dieléctrico
 - Cambio de sello mecánico
 - Accesorios
 - Cambio de cojinetes
 - Cambio de interruptor centrífugo
 - Capacitor
 - Pintura
- Por aireador
 - Cambio de aceite dieléctrico
 - Cambio de sello mecánico
 - Accesorios
 - Cambio de cojinetes
 - Pintura
- Operación: es la parte operativa de limpieza realizada diariamente, semanalmente, quincenalmente o según lo indique el manual de operación y mantenimiento de la planta, en cada una de las unidades que componen el sistema.

Tabla VII. Programa de operación y mantenimiento

Unidad Tratamiento	Actividad	Frecuencia
Primario	Limpiar rejillas/canasta y chequeo de bombas	Tres veces al día. Mínimo diariamente.
Sedimentador	Limpiar canoas clarificador	Una vez semana.
Digestor	Sacar lodos digestor con cisterna	Cada vez que este a un 100 % de su capacidad. Mínimo una vez al año.
Equipos aireación	Servicio menor y mayor	Uno menor y uno mayor al año.
Bombas recirculación y pozo	Revisar funcionamiento Servicio menor y mayor	Diariamente Uno menor y uno mayor al año.
Reportes operacionales	Confeción reportes y envío a autoridades	Anualmente
Mediciones de campo	Temperatura, pH, sólidos sedimentables, caudal	Una vez al mes como mínimo. Recomendable una vez a la semana.

Fuente: elaboración propia.

- El destino ideal del agua tratada es un cuerpo receptor o drenaje municipal. El agua tratada presenta muy buena calidad y puede ser utilizada para el riego de las áreas verdes.

Para la planificación de cada proyecto se utilizaron las siguientes herramientas técnicas:

- Diagrama PERT: permite un conocimiento preciso de la secuencia necesaria, o planificada para la ejecución de cada actividad y utilización de diagramas de red. Se suponen tres duraciones para cada actividad, tiempo optimista, tiempo pesimista y tiempo probable.

Tabla VIII. Diagrama PERT-CPM PTARP

Diagrama PERT-CPM PTARP						
Renglón	Descripción	Predecesor	Tiempo Optimista To (días)	Tiempo Probable Tm (días)	Tiempo Pesimista Tp (días)	Tiempo Esperado Te (días)
1	Preliminares	-	3	3	5	3
2	Excavación y plataforma	1	8	11	14	11
3	Fabricación e instalación	1, 2	36	42	48	42
4	Caseta eléctrica	1	6	8	10	8
5	Instalaciones y equipamiento	1, 2, 3, 4	10	15	20	15

Fuente: elaboración propia.

- Cronograma: se incluyen los principales renglones y actividades consideradas en cada proyecto.

Se puede observar los días estimados para cada actividad, cabe mencionar que se consideran condiciones ideales en el mismo, ya que en época de invierno los tiempos pueden aumentar según la variabilidad del clima y condiciones del lugar de instalación y construcción, así como de disposiciones ajenas que puedan llevarse a cabo por cambios o carencias en cada proyecto, mismas que no fueron tomadas en cuenta para el análisis en este trabajo.

Figura 9. Cronograma de actividades PTARP

PROGRAMA DE EJECUCION		PROGRAMA DE EJECUCIÓN																	
PROYECTO: PLANTA DE TRATAMIENTO PREFABRICADA DE 25M3 LOCALIZACION: Ciudad Guatemala FECHA: Año 2014 MATERIAL: PREFABRICADA EN FIBRA DE VIDRIO		PLANTA DE TRATAMIENTO PREFABRICADA PROGRAMA DE EJECUCIÓN LODOS ACTIVADOS 25M3D PARA AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS U ORDINARIAS																	
RENGLON	DESCRIPCION	TIEMPO	MES 1								MES 2								
		Dias	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12					
1	Preliminares:	3 DIAS	■																
2	Excavaciones y plataforma	11 DIAS	■	■															
3	Fabricacion e Instalacion Planta de tratam	42DIAS	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4	Caseta Electrica	8DIAS				■	■	■	■	■	■								
5	Instalaciones y equipamiento	15 DIAS																	■

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar el cronograma desplegado en el anexo 1.

4.5.1.1. Presupuesto de inversión

El presupuesto está integrado por todos los rubros que conlleva el proyecto para la realización del mismo. La elección del proceso a emplear es lo que situará a la planta en un rango u otro en cuanto a costes de construcción, operación y mantenimiento.

A continuación se presenta la integración del presupuesto de inversión para la PTAR evaluada.

Tabla IX. Resumen presupuesto de inversión PTARP

Renglón	Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Q)	Total (Q)
	1	Total				4,700.00
Preliminares	1.01	Limpieza general del área	Global	1	1,200.00	1,200.00
	1.02	Construcción de bodega	Global	1	2,000.00	2,000.00
	1.03	Instalaciones preliminares (energía, agua, electricidad)	Global	1	1,500.00	1,500.00
	2	Total				16,638.70
Excavaciones y plataforma	2.01	Trazo y nivelación, de PTAR completa	m ²	19,43	20.00	388.60
	2.02	Excavación estructural	m ³	54.53	140.00	7,634.20
	2.03	Acarreo de material sobrante (en banco)	m ³	65,44	50.00	3,271.80
	2.04	Ensabietado de protección de taludes de excavación	m ²	20,00	78.00	98.00
	2.05	Preparación de base de suelo-cemento 0,20m	m ²	19.43	270.00	5,246.10

Continuación de la tabla IX.

Fabricación e instalación de planta de tratamiento prefabricada	3					Total	122,500.00
	3.01	Fabricación de fibra de vidrio	PTAR U	1,0	110,000.00	110,000.00	
	3.02	Alquiler de maquinaria y/o grúa	Hrs	3,0	350.00	1,050.00	
	3.03	instalación	Global	1,0	1,200.00	1,200.00	
	3.04	Relleno con lodocreto	m ³	33,0	250.00	8,250.00	
	3.05	Fabricación de registros	U	4,0	500.00	2,000.00	
<hr/>							
Caseta eléctrica	4					Total	8,500.00
	4.01	Construcción de Caseta para paneles	Global	1,0	8,500.00	8,500.00	
<hr/>							
Instalaciones	5					Total	101,000.00
	5.01	Instalación y equipamiento	Global	1	101,000.00	101,000.00	
Total Costos de Inversión						Q253,338.70	

Fuente: elaboración propia.

4.5.1.2. Presupuesto de operación y mantenimiento

El presupuesto está integrado por todos los rubros que conlleva el proyecto para la realización del mismo; el mantenimiento de la PTAR estará constituida por un operario que realizará diversas tareas durante la operación de la planta; estas serán ejecutadas en intervalos de tiempo diferentes (diario, quincenal, mensual, etc.).

A continuación se presenta la integración del presupuesto de operación y mantenimiento para la PTAR evaluada.

Tabla X. **Resumen costos operación y mantenimiento mensual
PTARP 25m³d**

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor (Q)	Total (Q)
Sueldo de operario	Horas	176	12.00	2,112.00
Prestaciones	Horas	176	5.04	887.04
Análisis fisicoquímicos	U	1	425.00	425.00
Implementos de limpieza:	Global	1	250.00	250.00
i. Caja bolsas para basura	Un	1		
ii. Cloro	Un	1		
iii. Desinfectante	Un	1		
iv. Escoba plástica	Un	1		
v. Escoba plástica tipo cepillo	Un	1		
vi. Guantes plásticos pares	Un	30		
vii. Mascarillas paquete	Un	1		
viii. Pala para basura	Un	1		
Mantenimiento equipos de aireación y bombeo	Global	1	460.00	460.00
Gasto EE	Global	1	1,800.00	1,800.00
Extracción de lodos	Un	0,30	1,350.00	405.00
Mantenimiento preventivo tanques y elementos metálicos	Mensual	1	0.00	0.00
Imprevistos (eléctricos, cambios, reparaciones)	Un	1	100.00	100.00
Total				Q 5,939.04

Fuente: elaboración propia.

4.5.2. Planta de tratamiento de aguas residuales construida en sitio (PTARCS)

Sirve para tratar las aguas residuales procedentes de viviendas, el objeto de la PTAR es depurar (o tratar) el agua residual de la cocina, los baños, el lavado de ropas, etc. generada por los habitantes de una vivienda promedio.

A continuación se presentan las principales características técnicas de la PTAR evaluada:

- Tipo de aguas residuales a tratar: domésticas, procedentes de viviendas
- Ubicación: ciudad de Guatemala
- Capacidad tratamiento: 25m³d
- Sistema constructivo: mampostería reforzada

Figura 10. Vista PTARCS evaluada



Fuente: Proyecto planta construida en sitio ciudad de Guatemala 2014.

- Cumplimiento de la legislación ambiental: la PTAR cumple con las normas de Guatemala, permitiendo garantizar así una buena calidad del agua tratada.
- Tipo de tratamiento: aireación extendida (lodos activados). Sistema simple, basado en procesos físicos y biológicos simples; es un sistema de muy alta eficiencia presentando una buena calidad de agua tratada
- Mantenimiento: hecho por personal calificado una vez al año; incluye la purga de lodos hasta un sitio apropiado, la revisión del sistema de aireación, los componentes eléctricos y mecánicos de la planta, la medición del contenido de biomasa y su ajuste respectivo. Incluye también el mantenimiento de los equipos de aireación y bombeo, tanto mayor como menor.

El mantenimiento menor anual se desglosa de la siguiente manera:

- Por bomba de 0,5 o 1,0 hp
 - Cambio de aceite dieléctrico
 - Cambio de sello mecánico
 - Accesorios
- Por aireador
 - Cambio de aceite
 - Pintura
 - Mano de obra

- Revisión sello (no cambio)
- Extracción y limpieza

El mantenimiento mayor al año se desglosa de la siguiente manera:

- Por bomba de 0,5 o 1,0 hp
 - Cambio de aceite dieléctrico
 - Cambio de sello mecánico
 - Accesorios
 - Cambio de cojinetes
 - Cambio de interruptor centrífugo
 - Capacitor
 - Pintura
- Por aireador
 - Cambio de aceite dieléctrico
 - Cambio de sello mecánico
 - Accesorios
 - Cambio de cojinetes
 - Pintura
- Operación: es la parte operativa de limpieza realizada diariamente, semanalmente, quincenalmente o según lo indique el manual de operación y mantenimiento de la planta, en cada una de las unidades que componen el sistema.

Tabla XI. Programa de operación y mantenimiento

Unidad Tratamiento	Actividad	Frecuencia
Primario	Limpiar rejillas/canasta y chequeo de bombas	Tres veces al día. Mínimo diariamente.
Sedimentador	Limpiar canoas clarificador	Una vez semana.
Digestor	Sacar lodos digestor con cisterna	Cada vez que este a un 100 % de su capacidad. Mínimo una vez al año.
Equipos aireación	Servicio menor y mayor	Uno menor y uno mayor al año.
Bombas recirculación y pozo	Revisar funcionamiento Servicio menor y mayor	Diariamente Uno menor y uno mayor al año.
Reportes operacionales	Confección reportes y envío a autoridades	Anualmente
Mediciones de campo	Temperatura, pH, sólidos sedimentables, caudal	Una vez al mes como mínimo. Recomendable una vez a la semana.

Fuente: elaboración propia.

- El destino ideal del agua tratada es un cuerpo receptor o drenaje municipal. El agua tratada presenta muy buena calidad y puede ser utilizada para el riego de las áreas verdes.

Para la planificación de cada proyecto se utilizaron las siguientes herramientas técnicas:

- Diagrama PERT: permite un conocimiento preciso de la secuencia necesaria, o planificada para la ejecución de cada actividad y utilización de diagramas de red. Se calcularon los siguientes tiempos para cada actividad: tiempo optimista, tiempo probable, tiempo pesimista y tiempo esperado.

Tabla XII. Diagrama PERT-CPM PTARCS

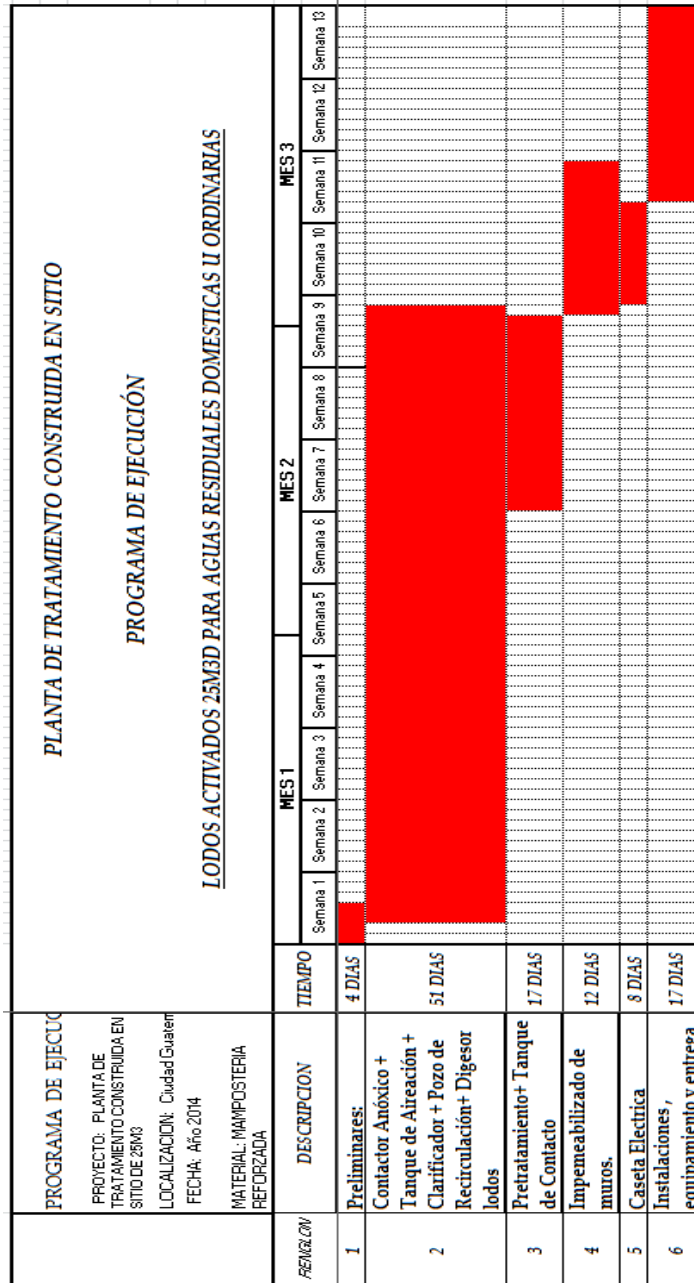
DIAGRAMA PERT-CPM PTARCS						
Renglón	Descripción	Predecesor	Tiempo Optimista To (días)	Tiempo Probable Tm (días)	Tiempo Pesimista Tp (días)	Tiempo Esperado Te (días)
1	Preliminares	-	3	4	5	4
2	Contactor anóxico + Tanque de aireación + Clarificador + Pozo de recirculación+ Digestor lodos	1	41	51	61	51
3	Pre tratamiento+ Tanque de contacto	1,2	12	17	22	17
4	Impermeabilizado de muros.	1, 2, 3	8	12	16	12
5	Caseta Eléctrica	1, 2	6	8	10	8
6	Instalaciones	1, 2, 3, 4, 5	12	17	22	17

Fuente: elaboración propia.

- Cronograma: se incluyen los principales renglones y actividades consideradas en cada proyecto.

Se puede observar los días estimados para cada actividad, cabe mencionar que se consideran condiciones ideales en el mismo, ya que en época de invierno los tiempos pueden aumentar según la variabilidad del clima y condiciones del lugar de instalación y construcción, así como de disposiciones ajenas que puedan llevarse a cabo por cambios o carencias en cada proyecto, mismas que no fueron tomadas en cuenta para el análisis en este trabajo.

Figura 11. Cronograma de actividades PTARCS



Fuente: elaboración propia.

Se puede observar el cronograma desplegado en el anexo 1.

4.5.2.1. Presupuesto de inversión

El presupuesto está integrado por todos los rubros que conlleva el proyecto para la realización del mismo. La elección del proceso a emplear es lo que situará a la planta en un rango u otro en cuanto a costes de construcción, operación y mantenimiento.

A continuación se presenta la integración del presupuesto de inversión para la PTAR evaluada.

Tabla XIII. Resumen presupuesto de inversión PTARCS

Renglón	Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Q)	Total (Q)
Preliminares	1	Total				6,200.00
	1.01	Limpieza general del área	Global	1	1,200.00	1,200.00
	1.02	Construcción de bodega	Global	1	3,000.00	3,000.00
	1.03	Instalaciones preliminares (energía, agua, electricidad)	Global	1	2,000.00	2,000.00
Contactor anóxico + Tanque de aireación + Clarificador + Pozo de recirculación+ Digestor lodos	2	Total				113,783.14
	2.01	Trazo y nivelación, de PTAR completa	m ²	23,49	20.00	469.80
	2.02	Excavación estructural	m ³	68,44	140.00	9,581.04
	2.03	Acarreo de material sobrante (en banco)	m ³	82,12	50.00	4,106.16
	2.04	Ensabetado de protección de taludes de excavación	m ²	40.00	78.00	3,120.00
	2.05	Preparación de base de suelo-cemento 0,20m	m ²	19.01	270.00	5,132.70
	2.06	Losa de piso de concreto reforzado e=0,20 m (doble cama de refuerzo No. 4@ 0,20 en a. s.)	m ²	19.01	730.00	13,877.30
	2.07	Muros de mampostería reforzada block de 0,19 m pineado.	m ²	100.37	480.00	48,176.64
	2.08	Losa de techo prefa. t=0,15 m para digestor de lodos	m ²	19.01	650.00	12,356.50

Continuación tabla XIII.

	2.09	Aplicación de cernido remolineado exterior	m ²	10.20	55.00	561.00
	2.1	Relleno con lodocreto alrededor de tanques	General	1.00	2,500.00	2,500.00
	2.11	Ensabetado y Cernido de muros internos en tanque	m ²	111.80	90.00	10,062.00
	2.12	Relleno de concreto pobre (pañuelos)	Global	1.00	1,500.00	1,500.00
	2.13	Bafile de concreto en Clarificador	Unidad	1.00	1,500.00	1,500.00
	2.14	Colocación de pasa muros y resanes	Unidad	14.00	60.00	840.00
	3	Total				8,298.14
Pre tratamiento + tanque de contacto	3.01	Trazo y nivelación,	m ²	3.43	15.00	51.45
	3.02	Excavación estructural	m ³	5.145	140.00	720.30
	3.03	Acarreo de material sobrante (en banco)	m ³	6.174	50.00	308.70
	3.04	Preparación de base de suelo-cemento 0,15 m	m ²	3.43	202.50	694.58
	3.05	Losa de piso de concreto reforzado e=0,15 m (una cama de refuerzo No. 4@ 0,20. en a. s.)	m ²	3.43	575.00	1,972.25
	3.06	Muros de mampostería reforzada block de 0,15 m pineado.	m ²	7.12	398.00	2,833.76
	3.07	Aplicación de cernido remolineado exterior	m ²	8	55.00	440.00
	3.08	Ensabetado y cernido de muros internos en tanque	m ²	14.19	90.00	1,277.10
	4	Total				16,030.44
Impermeabilizado de muros	4.01	Impermeabilización de muros y losas de planta de tratamiento	m ²	148.43	108.00	16,030.44
	5	Total				8,500.00
Caseta eléctrica	5.01	Construcción de caseta para paneles	Global	1	8,500.00	8,500.00
	6	Total				140,000.00
Instalaciones	6.06	Instalación y equipamiento	Global	1	140,000.00	140,000.00
Total Costos de Inversión						Q292,811.72

Fuente: elaboración propia.

4.5.2.2. Presupuesto de operación y mantenimiento

El presupuesto está integrado por todos los rubros que conlleva el proyecto para la realización del mismo; el mantenimiento de la PTAR estará constituida por un operario que realizará diversas tareas durante la operación de la planta; estas serán ejecutadas en intervalos de tiempo diferentes (diario, quincenal, mensual, etc.).

A continuación se presenta la integración del presupuesto de operación y mantenimiento para la PTAR evaluada.

Tabla XIV. **Resumen costos operación y mantenimiento mensual
PTARCS 25m³d**

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor (Q)	Total (Q)
Sueldo de operario	Horas	176	12.00	2,112.00
Prestaciones	Horas.	176	5.04	887.04
Análisis fisicoquímicos	U	1	425.00	425.00
Implementos de limpieza:	Global	1	250.00	250.00
i. Caja bolsas para basura	Un	1		
ii. Cloro	Un	1		
iii. Desinfectante	Un	1		
iv. Escoba plástica	Un	1		
v. Escoba plástica tipo cepillo	Un	1		
vi. Guantes plásticos pares	Un	30		
vii. Mascarillas paquete	Un	1		
viii. Pala para basura	Un	1		
Mantenimiento equipos de aireación y bombeo	Global	1	610.00	610.00
Gasto EE	Global	1	1,800.00	1,800.00
Extracción de lodos	Un	0.30	1,350.00	405.00
Mantenimiento preventivo tanques y elementos metálicos	Mensual	1	500.00	500.00

Continuación tabla XIV.

Imprevistos (eléctricos, cambios, reparaciones)	Un	1	150.00	150.00
TOTAL				Q 7,139.04

Fuente: elaboración propia.

4.6. Análisis de resultados

Un proyecto como la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales por su complejidad y magnitud presenta una serie de problemas, se debe tomar en cuenta que la comunicación es un aspecto importante para el éxito de los proyectos. La construcción de una PTAR involucra la interrelación entre diversas especialidades, ya que intervienen obras civiles; instalación de redes de líneas de procesos (tuberías de lodos, aire, agua, gas y drenajes); instalaciones eléctricas; instalaciones hidráulicas; obras exteriores.

Una de las tareas más difíciles en el diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales es el seleccionar las tecnologías que mejor se ajustan a las condiciones específicas del proyecto.

4.6.1. Generalidades

Ninguna de las alternativas evaluadas es definitivamente mejor que la otra, cada una tiene sus ventajas y desventajas en relación a costos de construcción, costos de operación, uso de energía, tamaño, facilidad de operación, estabilidad, confiabilidad, etc.; cada una se adapta mejor a ciertas condiciones específicas.

Este proceso tiene como objeto garantizar el análisis y tabulación de los resultados obtenidos en el estudio.

4.6.2. Tabulación y análisis información

Para el análisis de los resultados, se creó una base de datos en hoja electrónica, de manera de facilitar su tabulación, interpretación y la elaboración de las gráficas.

4.6.3. Gráficas y tablas

A continuación se presentan las gráficas y tablas generadas en la elaboración del trabajo realizado.

- Comparación de costos y tiempos construcción: en la siguiente tabla se presenta información sobre los costos y tiempos de construcción en cada caso; la evaluación se realizó respecto de la información de la PTARP.

Tabla XV. **Comparación de costos y tiempos construcción PTAR evaluadas**

Tipo de planta	Costo inversión inicial (Q)	Diferencia costo inversión inicial (%)	Costo operacional (Q)	Diferencia costo operacional (%)	Tiempo (días calendario)	Diferencia tiempo ejecución (%)
PTARP	253,338.70	0	5,939.04	0	60	0
PTARCS	292,811.72	13,5	7,139.04	16,8	90	33,3

Fuente: elaboración propia.

- Comparación de inversión inicial construcción PTAR: en la siguiente tabla se presentan los resultados sobre la inversión inicial de la construcción en cada caso.

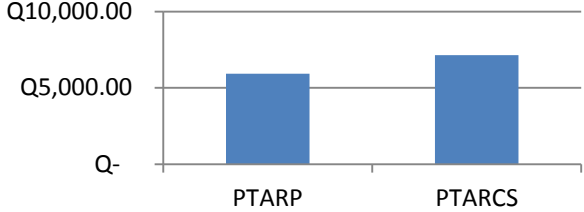
Tabla XVI. **Comparación de inversión inicial construcción PTAR evaluadas**

Tipo de planta	Costo inversión inicial (Q)	Gráfica						
PTARP	253,338.70	<p style="text-align: center;">Resultados inversión inicial (Q)</p> <table border="1" style="display: none;"> <caption>Data for Bar Chart: Resultados inversión inicial (Q)</caption> <thead> <tr> <th>Tipo de planta</th> <th>Costo inversión inicial (Q)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PTARP</td> <td>253,338.70</td> </tr> <tr> <td>PTARCS</td> <td>292,811.72</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo de planta	Costo inversión inicial (Q)	PTARP	253,338.70	PTARCS	292,811.72
Tipo de planta	Costo inversión inicial (Q)							
PTARP	253,338.70							
PTARCS	292,811.72							
PTARCS	292,811.72							

Fuente: elaboración propia.

- Comparación de costos operación y mantenimiento PTAR: en la siguiente tabla se presentan los resultados relacionados con la operación y mantenimiento de cada proyecto.

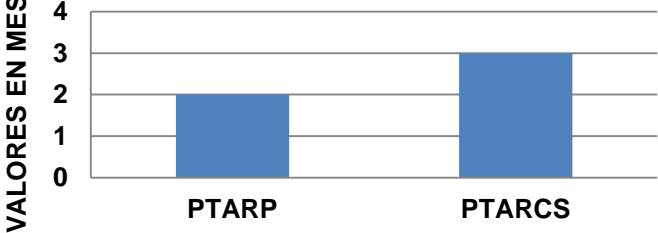
Tabla XVII. **Comparación de costos operación y mantenimiento PTAR evaluadas**

Tipo de planta	Costo operación y mantenimiento (Q)	Gráfica						
PTARP	5,939.04	<p data-bbox="802 667 1182 827">Resultado costo operacion y mantenimiento (Q)</p>  <table border="1" data-bbox="699 856 1279 1066"> <caption>Resultado costo operacion y mantenimiento (Q)</caption> <thead> <tr> <th>Tipo de planta</th> <th>Costo (Q)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PTARP</td> <td>5,939.04</td> </tr> <tr> <td>PTARCS</td> <td>7,139.04</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo de planta	Costo (Q)	PTARP	5,939.04	PTARCS	7,139.04
Tipo de planta	Costo (Q)							
PTARP	5,939.04							
PTARCS	7,139.04							
PTARCS	7,139.04							

Fuente: elaboración propia.

- Comparación de tiempo de ejecución PTAR: en la siguiente tabla se presentan los resultados relacionados con el tiempo de construcción para cada proyecto.

Tabla XVIII. **Comparación de tiempos de construcción
PTAR evaluadas**

Tipo de planta	Tiempos de construcción (meses)	Gráfica
PTARP	2	<p data-bbox="792 667 1291 772">Resultados tiempo de construcción (meses)</p>  <p data-bbox="711 751 743 1024">VALORES EN MESES</p> <p data-bbox="889 982 987 1010">PTARP</p> <p data-bbox="1166 982 1263 1010">PTARCS</p>
PTARCS	3	

Fuente: elaboración propia.

4.6.4. Interpretación

En todo sistema de tratamiento de aguas residuales, los responsables del diseño y planificación deben obtener una combinación óptima de:

- Máxima protección a la salud pública y el ambiente
- Mínimos costos de construcción y operación

Los costos de inversión inicial y de funcionamiento, así como el tiempo para la construcción, son criterios para el diseño, construcción y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

4.6.4.1. Aspectos cuantitativos

A continuación se presenta la interpretación de las tablas con los resultados obtenidos.

- Comparación de costos y tiempos construcción: los costos de inversión inicial y de operación y mantenimiento, así como el tiempo para la construcción, son de los principales criterios para el diseño, ejecución y operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Comparación de inversión inicial construcción: de acuerdo a los resultados obtenidos, el costo de inversión inicial es mayor en el proyecto PTARCS (Q 292,811.72) que en la PTARP (253,338.70); siendo los renglones de la obra civil, fabricación de la planta prefabricada e instalaciones los que mayor incidencia tienen en el costo total.
- Comparación de costos operación y mantenimiento: de acuerdo a los resultados obtenidos, los costos de operación y mantenimiento son similares para ambos proyectos, siendo el mayor el PTARCS (Q 7,139.04) respecto a PTARP (5,939.04).
- Comparación de tiempo de ejecución PTAR: de acuerdo a los resultados obtenidos, el tiempo de construcción es mayor para la PTARCS (tres meses) que el de PTARP (dos meses).

4.6.4.2. Aspectos cualitativos

Los principales factores que alteran significativamente el funcionamiento de las plantas prefabricadas y construidas en sitio con tratamiento biológico de lodos activados, como las estudiadas en el presente trabajo son los siguientes:

- Fluctuaciones en el flujo
- Retorno de lodos adecuado
- Sistemas adecuados de remoción de espumas y grasas del clarificador final.
- Desnitrificación en el clarificador
- Extracción, manejo y disposición apropiada de lodos
- Control adecuado de los sólidos suspendidos en el licor mezclado (SSLM).
- Control de la formación de espumas
- Cambios bruscos de temperatura
- Control adecuado de las tasas de oxigenación
- Diseño adecuado ante sobrecargas de materia orgánica y sólidos
- Hermeticidad del sistema
- Mantenimiento de la unidad
- Mantenimiento de los equipos
- Operación correcta del sistema
- Plan de control y registro de mantenimientos
- Cambios en los parámetros de diseño

Tabla XIX. **Comparación aspectos cualitativos PTAR evaluadas**

Parámetro comparación	PTARP	PTARCS
Impermeabilización	Imprescindible Cada 10 años (o menos)	No necesita
Reparaciones (fugas)	Se debe de vaciar y secar para su reparación y volver a probar.	Se repara en el sitio, y las fugas y fallas son visibles.
Resistencia material	Alta resistencia, fácilmente puede construirse para carga de tráfico liviano o pesado, estructura sismo resistente.	No tiene mayor capacidad de carga, de necesitar trafico debe de construirse obra civil para protección de la planta. Material resistente a ataques corrosivos.
Estructura metálica	Mantenimiento a los agentes corrosivos (pintura, otros).	No lleva

Fuente: elaboración propia.

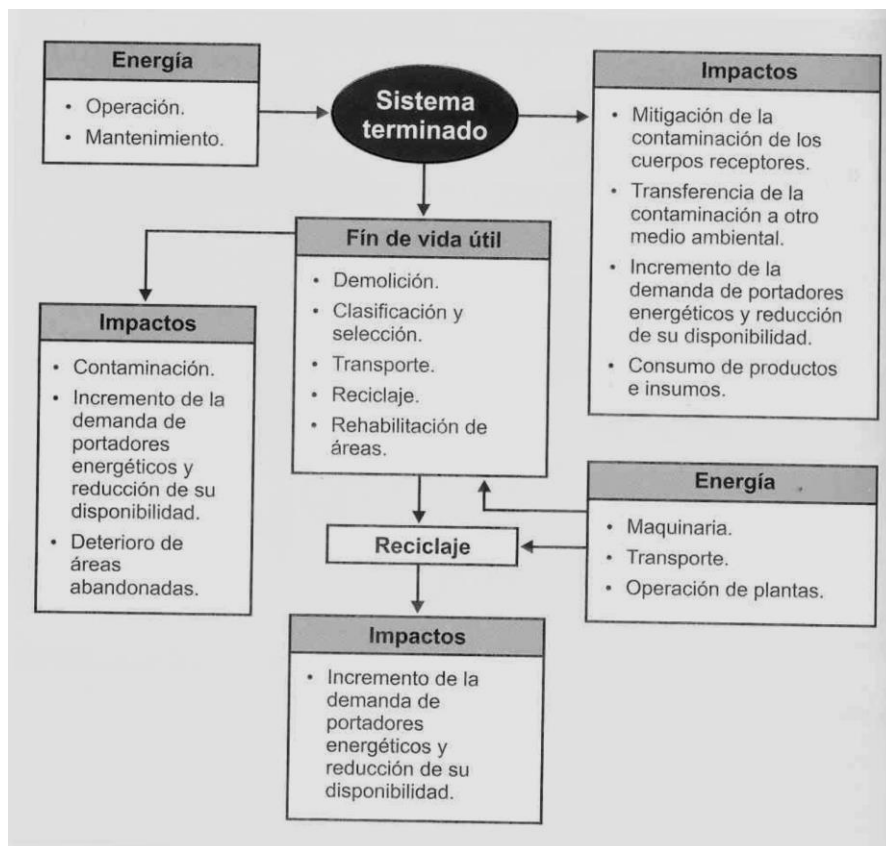
4.6.5. Vida útil ambos sistemas

De acuerdo a lo establecido el ciclo de vida de las obras de PTAR se define en cuatro etapas:

- Planeamiento y proyección: los principales impactos que se generan en esta fase son agotamiento de los recursos naturales, contaminación, cambio del uso del suelo, deforestación.

- Construcción: reducción disponibilidad del agua, contaminación, cambio del uso del suelo.
- Operación y mantenimiento: los impactos ambientales generados se deben a las actividades inherentes al proyecto.
- Cierre o abandono: en esta etapa existen necesidades de energía, mano de obra, tecnologías y equipamiento para realizar los trabajos requeridos.

Figura 12. **Impactos ambientales generados durante la operación y vida útil de los sistemas de tratamiento y disposición final de aguas residuales**



Fuente: TERRY BERRO, Carmen. *Manejo de aguas residuales en la gestión ambiental*. p. 82.

La PTARCS tiene una vida útil de diseño entre 25-30 años, las mismas deben de remozar su impermeabilización interna para lograr este periodo cada 10 años como máximo, para mantener la protección de la estructura.

La PTARP aunque tienen un tiempo de degradación tan alto como el plástico no tiene mayor capacidad de carga (pueden ser reparadas fácilmente dependiendo el daño que sufran), de necesitar tráfico debe de construirse obra civil para protección de la planta lo que encarece el diseño.

Las PTAP pueden conllevar paralelamente a un diseño estructural realizado por un profesional, con lo cual se lograría una mejor capacidad soporte de la misma, o bien, diseñar una estructura complementaria para proteger la planta prefabricada.

En ambos casos los equipos tienen una vida útil idéntica, lo cual puede verse mermada por el no mantenimiento, o el descuido en la operación de los mismos, fallas eléctricas o falta de limpieza de las unidades primarias, lo cual provoca el desgaste de los impulsores y sellos mecánicos de las bombas y aireadores. Estos pueden ser reparados y devueltos a su funcionamiento lo cual tendría un repunte en los costos operativos considerables.

CONCLUSIONES

1. Se presentó información importante sobre los sistemas y procesos de tratamiento de las PTAR, siendo estas las etapas de cada una de ellas, tecnologías y costos según el material y tecnología constructiva, a manera de que el estudiante y profesional de la ingeniería civil cuente con un documento de referencia que pueda consultar al momento de ejecutar un proyecto.
2. El costo de la inversión inicial es menor en la PTARP (Q 253,338.70) en relación al de la PTARCS (Q 292,811.72), así como los costos de operación y mantenimiento son mayores en la PTARCS (Q 7,139.04) en relación a los de la PTARP (Q 5,939.04).
3. El tiempo de ejecución del proyecto de la PTARCS (tres meses) es mayor al de la PTARP (dos meses).
4. Las PTARP (fibra de vidrio) aunque tienen un tiempo de degradación tan alto como el plástico, no tienen resistencia estructural a movimientos telúricos o al tráfico, mientras que las PTARCS con un diseño sísmico realizado por un profesional soportan este tipo de fuerzas.
5. La PTARCS requiere de una impermeabilización completa y funcional, para evitar filtraciones que pueden dañar la estructura, así como el remozamiento o cambio de dicha impermeabilización en un tiempo aproximado de 10 años según el producto utilizado.

6. La PTARP tiene problemas de manipulación y traslado según la ubicación y acceso del proyecto, no se recomienda en volúmenes mayores a los 40 m³ por su complejidad en manipulación, traslado e instalación.
7. Los principales impactos negativos que genera la construcción de una PTAR son los cambios paisajísticos, la alteración del hábitat del área, la generación de olores y desechos sólidos. Sin embargo, existen medidas de mitigación las cuales deberán promover e implementarse para que el proyecto se mantenga ambientalmente sostenible.
8. La mayoría de los sistemas de tratamientos de aguas residuales empleados en Guatemala incluyen generalmente, el pretratamiento, el tratamiento primario y secundario, no incluyendo el tratamiento terciarios o avanzado por los altos costos que ellos implican.
9. Independientemente del tipo de planta utilizado, el proceso de lodos activados se basa en proporcionar un contacto íntimo entre las aguas negras y lodos biológicamente activos; tiene como objetivo la remoción de materia orgánica, en términos de DQO, de las aguas residuales, dicho proceso aerobio presenta eficiencias hasta del 95 % de remoción, a diferencia de las plantas anaerobias que logran alcanzar hasta un 85 %, ambas con operaciones constantes y controladas.

RECOMENDACIONES

1. Impulsar el uso de sistemas de tratamiento de aguas residuales ya que mejorarán la calidad de los cuerpos receptores y la salud humana.
2. A nivel nacional incentivar el uso de plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que actualmente presenta un déficit para tratar las aguas residuales domésticas.
3. El ingeniero civil debe participar profesionalmente y directamente en la gestión ambiental de las PTAR en las fases de diseño, construcción, operación y mantenimiento de los proyectos, ya que depende del realizar las sugerencias técnicas necesarias para la construcción y operación del sistema ideal para determinado proyecto, de acuerdo al estudio de las diferentes alternativas.
4. Para la selección del tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales, se deben considerar aspectos culturales, económicos, sociales, de infraestructura, de suelos y ambientales del municipio o región donde se va a efectuar la instalación de esta.
5. Las decisiones en cuanto al tipo y ubicación de la descarga del efluente y el nivel de tratamiento, son cruciales y no deben ser tomadas sin suficiente información.

6. Construir las PTAR de acuerdo a los parámetros de diseño, ajustado a las normas, especificaciones, planos de proyecto, y en general a la buena práctica de la ingeniería.
7. Operar y mantener las PTAR siguiendo las especificaciones indicadas por el proveedor o el diseñador/constructor, para así evitar deterioros prematuros de las instalaciones y los equipos.
8. En los proyectos de construcción de vivienda, se debe implementar la separación de aguas residuales y pluviales.
9. El ingeniero civil debe considerar la planta de tratamiento como una estructura importante, debido a que un mal diseño de la misma puede provocar pérdidas económicas en el proyecto o fracaso del mismo, por tal razón y frente a una responsabilidad social creciente de forma exponencial, se debe conocer en su totalidad los sistemas a instalar para que la finalidad sea el tratamiento efectivo de las aguas residuales y la menor o nula problemática para los usuarios de los sistemas.
10. Para determinar la alternativa más viable en un diseño de PTAR se deben considerar los aspectos culturales, económicos, sociales, de infraestructura, accesos, de suelos y ambientales del municipio o región donde se va a efectuar la instalación de esta, así mismo deben adaptarse a las condiciones del lugar donde se ubique el proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acuerdo Gubernativo 236-2006. *Reglamento de las descargas y reúsos de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Guatemala 2006.
2. GIRÓN MORALES, Rubén Alexander. *Consideraciones ambientales para plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando tanques Imhoff en la colonia el Tesoro, Mixco*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Guatemala 2004. 207 p.
3. Glosario de términos.[en línea]. [ref. 15 enero 2010]. Disponible en Web:<http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_residual>.
4. Impactos ambientales. [en línea].[ref. 17 enero 2014]. Disponible en Web:<<http://www.monografias.com/trabajos63/analisis-impactos-ambientales5.shtml>>.
5. MARTÍN GARCÍA, Isabel. *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Mejora de la calidad de los efluentes*. Centro de las Nuevas Tecnologías del agua. Gobierno de Canarias. España. 2006. 128 p.

6. MARTÍNEZ, Freddy Aníbal, D. YSASE COVA Tibisay. *Descripción de los tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas*. Universidad de Oriente. Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Venezuela. 2009. 70 p.
7. MAYOR CÓRDOVA, Edgardo Raúl. *Planeamiento integral de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima, Perú. 2013. 100 p.
8. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. *Mejores técnicas disponibles de referencia europea. Sistemas de gestión y tratamiento de aguas y gases residuales en el sector químico*. España. 2009.
9. Plantas tratamiento de aguas residuales. [en línea]. [ref. abril 2014]. Disponible en Web:<<http://www.plantasdetratamiento.com.mx/index.php?tecnologia.>>.
10. RAMÍREZ BACH, Gerson Jonatan. *Análisis del comportamiento de los materiales de construcción utilizados en plantas de tratamiento de aguas residuales y realización de caso práctico*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2010. 196 p.
11. RODAS RUIZ, Rodolfo Estuardo. *Determinación del costo directo de construcción de una planta de tratamiento con la ayuda de la programación PERT-tiempo*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2003. 141 p.

12. TERRY BERRO, Carmen C., GUTIERREZ DIAZ, Joaquin B.; ABO BALANZA. *Manejo de aguas residuales en la gestión ambiental*. Proyecto PNUD/GEF. Habana Cuba. 125 p.
13. *Tratamiento de aguas residuales*. [en línea]. [ref. marzo2014]. Disponible en Web: <http://www.es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_de_aguas_residuales>.
14. VELÁSQUEZ OROZCO, Ramón Alejandro. *Administración y planificación del presupuesto en un proyecto de urbanización*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2009. 125 p.
15. VILLEGAS GALLÓN, Margarita María, VIDAL TORDECILLA, Elda Esther. *Gestión de los procesos de descontaminación de aguas residuales domésticas de tipo rural en Colombia*. 1983-2009. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Medellín, Colombia. 2009. 73 p.

