



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE  
BIORREACTORES UASB EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

**Carlos Armando Marroquín Villanueva**  
Asesorado por Msc. Ing. Manuel Alberto Ávila

Guatemala, febrero del 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE  
BIORREACTORES UASB EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**CARLOS ARMANDO MARROQUÍN VILLANUEVA**  
ASESORADO POR MSC. ING. MANUEL ALBERTO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2013

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. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

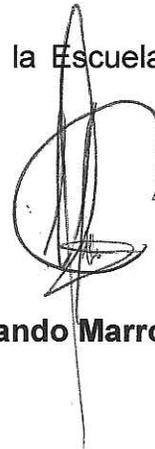
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Erwin Danilo González Trejo
EXAMINADOR	Ing. Alberto Eulalio Hernández García
EXAMINADORA	Inga. Mayra Saadeth Arreaza Martínez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## 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:

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE BIORREACTORES UASB EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 25 de enero del 2013



**Carlos Armando Marroquín Villanueva**

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142

**ADSE-MEAPP-0007-2013**

Guatemala, 28 de enero de 2013.

Director:  
César Ernesto Urquizú Rodas  
Escuela de Ingeniería Industrial  
Presente.

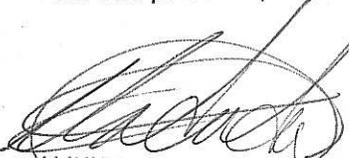
Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Carlos Armando Marroquín Villanueva** con carné número **2007-14222**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y enseñad a todos"

  
Msc. Ing. Manuel Alberto Avila  
INGENIERO Asesor(a)  
COLEGIADO 6371

  
Msc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque.  
Coordinador de Área  
Desarrollo social y energético

Ing. Juan C. Fuentes M.  
M.Sc. Hidrología  
Colegiado No. 2,504

  
Dra. Mayra Virginia Castillo Montés  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado



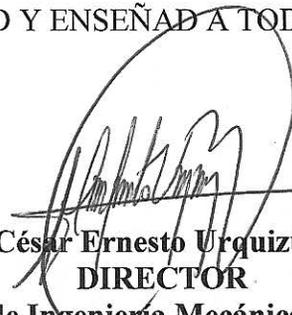
Cc: archivo  
/la



REF.DIR.EMI.026.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE BIORREACTORES UASB EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Armando Marroquín Villanueva**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAR A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, febrero de 2013.

/mgp



DTG. 072 .2013

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 Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE BIORREACTORES EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Armando Marroquín Villanueva**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, 12 de febrero de 2013

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser la luz que guía mi vida.
<b>Mis padres</b>	Carlos Marroquín Pellecer y Sonia Villanueva de Marroquín. Por su amor, sustento, apoyo y tantos buenos consejos.
<b>Mis hermanas</b>	Karla y Sonia Marroquín por su ayuda, consejos y apoyo incondicional.
<b>Mis sobrinos</b>	Por inspirarme en seguir adelante.
<b>Mis primos</b>	Por ser una importante influencia en mi carrera y en mi vida.
<b>Mi novia</b>	Ana Izabel García por escucharme, aconsejarme y entenderme.
<b>Mis tíos</b>	Por su cariño y apoyo.
<b>Mis cuñados</b>	Por ser los hermanos que mis padres no me dieron pero Dios sí.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por tantos conocimientos y buenas experiencias.
<b>Mis amigos de la facultad</b>	Por su apoyo, cariño y diversión.
<b>Mis catedráticos</b>	Por tantas enseñanzas.

## ÍNDICE GENERAL

LISTADO DE SIMBOLOS.....	III
GLOSARIO.....	V
RESUMEN.....	VII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	5
3. OBJETIVOS.....	7
4. JUSTIFICACIÓN.....	9
5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	11
6. ALCANCES.....	13
7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	15
8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	23
9. RESULTADOS ESPERADOS.....	25
10. CONTENIDO.....	27
11. MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	29

12.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	31
13.	RECURSOS NECESARIOS.....	33
14.	BIBLIOGRAFÍA.....	35

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
H <sub>2</sub> S	Ácido sulfhídrico
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
Mwh	Mega watts
%	Porcentaje
Q.	Quetzales
V	Voltio



## GLOSARIO

TIR	Tasa Interna de Retorno, es un indicador que permite conocer el tiempo en el cual una cantidad económica se va a pagar completamente.
VAN	Valor Actual Neto, es un indicador que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros.
CAUE	Costo anual equivalente, es un indicador que corresponde a todos los ingresos y egresos convertidos en una cantidad anual uniforme equivalente a cada período.
UASB	Por sus siglas en ingles Upflow Anaerobic Sludge Blanquet, es un tipo de biorreactor que se puede utilizar como una tecnología alternativa aplicable en plantas de tratamiento de aguas residuales.
PH	Es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución e indica la concentración de iones hidronio presentes en determinadas sustancias.



## **RESUMEN**

Este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la generación de energía eléctrica por medio de biorreactores UASB, en una planta de tratamiento de aguas residuales. Las mediciones se realizaron en la colonia Fuentes Del Valle ubicada en Villa Nueva, esto con el fin de recopilar información del biogás, obtenido en condiciones tropicales e imitar este proyecto en otros sectores del país que carecen de energía eléctrica y de un tratamiento adecuado de aguas residuales.

Se busca encontrar los costos y los beneficios tanto sociales como económicos de la implementación de este tipo de tecnología, las horas adecuadas para volver más eficiente el proceso y así elevar la captura de biogás, definir la cantidad de recurso humano necesario para la supervisión y toma de datos.



# 1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango convenientes para su disposición o reúso. El tratamiento de aguas residuales comienza por la separación física inicial de sólidos grandes de la corriente de aguas domésticas o industriales empleando un sistema de rejillas, posteriormente se aplica un desarenado seguido de una sedimentación primaria que separan los sólidos suspendidos existentes en el agua residual. A continuación, sigue la conversión progresiva de la materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida el agua tratada puede experimentar procesos adicionales como desinfección, filtración, etc. Este efluente final puede ser descargado o reintroducidos de vuelta a un cuerpo de agua natural u otro.

El uso de las aguas residuales sería una innovación original y representa una opción para el óptimo aprovechamiento del recurso hídrico. Este proyecto se realizará en la planta de tratamiento de aguas residuales de la colonia Fuentes del Valle I, II y III ubicada en Villa Nueva, que recibe las aguas negras de más de cien casas, es del tipo UASB.

El estudio pretende presentar una serie de pasos para que se pueda llevar a cabo, la identificación y evaluación de proyectos de generación de energía eléctrica utilizando aguas residuales en general y particularmente, provenientes

de plantas de tratamiento por medio de birreactores UASB. Aunado a lo anterior se establece la importancia de conocer la factibilidad técnica y financiera del aprovechamiento el biogás captado en este tipo de planta de tratamiento, para la generación de energía en forma de electricidad y calor, con el fin de aprovechar la energía requerida para sus operaciones y, posiblemente, vender el excedente a la red pública.

## Capitulo 1

En este capítulo se incluirá diagnóstico de la situación actual, o situación sin proyecto debe recoger información de aspectos tecnológicos y socioeconómicos del área de influencia del proyecto. Debe incluir además un trabajo de campo.

Este trabajo debe considerar:

- Un estudio de mercado eléctrico, patrones de consumo, gasto en energía, tarifas, usos, calidad, y otros.
- Evaluación de características socioeconómicas y ambientales de la zona de influencia, con énfasis en las potencialidades de desarrollo económico frustradas por la falta de energía, características de la población, instituciones, autoridades, por mencionar algunos.
- Evaluación del potencial energético de las posibles fuentes alternativas, incluyendo la infraestructura existente y los riesgos de impacto ambiental negativo.

El diagnóstico debe proveer suficiente información para precisar el problema que motiva el proyecto y sus efectos si no se toma ninguna medida.

- Alcances del problema, área afectada y dimensión de los aspectos negativos.
- Dimensión del área beneficiada e impactos en el bienestar
- Intentos anteriores por resolver el problema y su grado de éxito
- Intereses de grupos involucrados

## Capitulo 2

En este capítulo se hablará acerca de la generación de energía eléctrica en plantas de tratamiento de aguas residuales y como este importante paso adelante, abre las puertas a un futuro en el que las plantas de tratamiento de aguas residuales no sólo se energizarán gracias a estas propias aguas, sino que producirán un excedente de electricidad lo bastante grande como para transferirlo a la red de suministro eléctrico. El método produciría cantidades significativas de electricidad, y también limpiaría eficazmente las aguas residuales.

Esto podría tener importantes repercusiones en todo el mundo, ahorraría mucho dinero, proporcionaría un tratamiento mejor para el agua y promovería un uso más sostenible de la energía.

## Capitulo 3

En este capítulo se explicarán las tecnologías asociadas a la generación de energía eléctrica como por ejemplo la utilizada en la planta de tratamiento de aguas Portinho da Costa, el biogás producido se utiliza en un sistema de cogeneración para producir electricidad y calor. Gracias a este sistema de cogeneración, el consumo de gas natural y energía eléctrica se ha reducido en un 67 %, lo que equivale a una reducción de 2000 Mwh al año.

En el plano medioambiental, el uso de esta tecnología ha reducido las emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>) en un 38 %, es decir 687 toneladas.

## Capitulo 4

El propósito de esta sección es proporcionar orientación para un análisis de impacto ambiental. La evaluación ambiental, finalmente, deberá ajustarse a las disposiciones legales vigentes.

Este análisis sirve para identificar los impactos positivos y negativos que la alternativa seleccionada podría generar en el medioambiente, así como las acciones de mitigación que dichos impactos requerirán y sus costos, si fuera el caso.

Es importante que se siga investigando, desarrollando y creando formas de crear gas, electricidad, abono a un costo accesible, utilizando sistemas alternativos como por medio de las aguas contaminadas.

## 2. ANTECEDENTES

La generación de energía eléctrica, utilizando aguas residuales es una opción en la reutilización y obtención de un beneficio adicional y tiene la particularidad que es un recurso gratuito, porque no tiene una demanda real ya que en las plantas de tratamiento de aguas residuales se elimina y desecha.

La generación de energía eléctrica por medio de energía hidráulica, existe desde el siglo XIX, usando los cuerpos de agua superficial como ríos los cuales son el recurso de agua potable aprovechado, para múltiples usos que compitan entre sí.

El uso de las aguas residuales sería una innovación original y representa una opción para el óptimo aprovechamiento del recurso hídrico. Durante las dos décadas pasadas, el uso de sistemas anaerobios para el tratamiento de aguas residuales industriales se ha incrementado grandemente. Este hecho está relacionado con el desarrollo del reactor de lecho de lodos con flujo ascendente, UASB (por sus siglas en inglés: Upflow Anaerobic Sludge Blanket).

Aprovechando el hecho que las leyes ambientales del país no permiten la descarga del agua sin tratamiento, se debe considerar la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, que tendría como valor agregado la generación de energía eléctrica.

La tecnología de la digestión anaerobia se encuentra firmemente establecida a nivel mundial y en América Latina, y puede ser adaptable a las características del residual por tratar y el lugar donde se quiera implementar.

En Cuba, se ha trabajado en el tratamiento anaerobio de vinazas provenientes de melazas, empleando reactores UASB, y en el tratamiento de residuos de centros porcinos, mediante el empleo de filtros anaerobios.

Existen numerosas aguas residuales industriales las cuales resultan buenas candidatas para el tratamiento anaerobio, pero en cuya composición existe uno o algunos compuestos que resultan tóxicos para la biomasa anaerobia. Es raro actualmente encontrar un agua residual industrial libre de compuestos tóxicos, por lo que se hace necesario el estudio desde nivel de laboratorio, de cada residual en particular.

La ciudad de Wolfsburg en Alemania posee un sistema que obtiene energía a partir de los residuos líquidos por la que se obtiene biogás, que es utilizada en la propia planta y también se puede obtener abono para uso agrícola.

En la ciudad de Basilea, en Suiza se desarrolla tecnología que recupera el calor de las aguas residuales que pasan por el tratamiento de depuración. Este calor se reutiliza para calefacción. Similares experiencias se desarrollan en Alemania.

En Estados Unidos se están implementando proyectos con diferentes tecnologías para aprovechar el metano que se produce por mezclar aguas residuales y basura orgánica. Se logra el metano por medio de microorganismos que degradan los desechos y se consigue que se produzca el gas.

### **3. OBJETIVOS**

#### **General**

Establecer el proceso de generación de energía eléctrica a partir de una planta de tratamiento de aguas residuales por medio de biorreactores UASB.

#### **Específicos**

1. Determinar los aspectos técnicos necesarios para poner en marcha esta tecnología de generación de energía eléctrica de aguas residuales.
2. Definir en qué tipo de plantas de tratamiento, es posible implementar el método de generación de energía eléctrica, por medio de biorreactores.
3. Determinar la rentabilidad de un proyecto de generación de energía por medio de biorreactores.



## **4. JUSTIFICACIÓN**

Una gran parte de la contaminación de las aguas del país se debe a la descarga de aguas sin el debido tratamiento, incluida el área residencial, industrial, comercial, minera, otros.

Se deben de crear alternativas para que las descargas estén dentro de los límites aceptados por la legislación del país, tratando de crear o implementar métodos que inviten a los usuarios a adoptarlos, tal es el caso de la creación de energía a partir de biorreactores UASB en una planta de tratamiento de aguas residuales.

La mayoría de las municipalidades o entidades públicas y privadas no poseen plantas de tratamiento de aguas residuales debido al alto costo y poco beneficio económico que para ellas representa. Pero utilizando este método podrían obtener energía renovable con lo cual podría llegar a obtenerse un mayor interés en la implementación de este método, que ofrece un beneficio para el medio ambiente, y creación de energía barata para los que la utilicen.



## 5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El estudio pretende presentar una serie de pasos para que se pueda llevar a cabo la Identificación, Formulación y Evaluación de Proyectos de Generación de Energía Eléctrica utilizando aguas residuales en general y particularmente provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Agregado a lo anterior se establece la importancia de conocer la factibilidad técnica y financiera del aprovechamiento de las aguas residuales de una planta de tratamiento residencial, para la generación de energía en forma de electricidad con el fin de aprovechar la energía requerida para su uso y, posiblemente, vender el excedente a la red pública.

En nuestra sociedad actual es necesario restaurar la calidad del agua usada y descargada por las industrias, para la protección del medio ambiente. Todas las posibilidades para encontrar tratamientos económicos y prácticos deben ser consideradas, en particular los tratamientos biológicos, por la capacidad de biodegradar los compuestos contaminantes hacia compuestos sencillos. Dentro de ellos el tratamiento anaerobio es el más ventajoso. Debido a su capacidad de degradar ciertos compuestos tóxicos; así como los contaminantes orgánicos comunes en aguas residuales industriales, la biotecnología anaerobia ha avanzado a niveles más elevados de aplicación y se ha establecido como una opción viable en el tratamiento y restauración de muchos efluentes de las industrias.

### Pregunta central

¿Existe un procedimiento para generar energía eléctrica a partir de una planta de tratamiento de aguas residuales por medio de biorreactores UASB?

### Preguntas auxiliares

¿Cuáles son los aspectos necesarios a tomar en cuenta para utilizar la tecnología que crea energía en una planta de tratamiento de aguas residuales por biorreactores UASB?

¿En qué plantas se puede implementar este método de generación eléctrica por biorreactores UASB?

¿Es rentable desde un punto de vista económico y social la creación de energía eléctrica en una planta de tratamiento de aguas residuales por biorreactores UASB?

## 6. ALCANCES

En el siguiente trabajo lo que se puede esperar después de realizar los estudios tanto teóricos como prácticos es lo siguiente:

- Recopilar información histórica acerca de la obtención de biogás por medio de plantas de tratamiento.
- Obtener datos (temperatura, biogás, PH, por mencionar algunos) en la planta de tratamiento Fuentes del Valle, ubicada en Villa Nueva.
- Encontrar horarios óptimos para la obtención de biogás en la planta.
- Determinar el impacto ambiental, positivo o negativo que el proyecto presentará gracias a la generación de energía.



## 7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

El reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodos (RAFA), también conocido como Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), es un reactor avanzado que consiste en una cámara o reactor que tiene flujo ascendente (de abajo hacia arriba), en cierto lugar está colocado un manto de lodo granular o floculante (dependiendo del substrato y carga orgánica e hidráulica), que es altamente reactivo y que permite remociones de un 65% a 80% de materia orgánica; como el proceso es anaerobio, se genera gas metano, el cual se acumula en las cámaras de gas localizadas en la parte superior del reactor, el agua tratada asciende hasta otra cámara de sedimentación en la parte superior, donde los lodos contenidos son sedimentados hacia el reactor y el agua conducida a la canaleta superior para ser vertida a un tratamiento posterior para remoción de colis (Look Hulshoff Pol, Gatze Lettinga y Jin Field,1989).

Los costos de inversión de una planta UASB dependen de: su tamaño, las características del residual a tratar, el equipamiento auxiliar, las facilidades del postratamiento, entre otros aspectos. En el costo también influye notablemente la situación local. Los costos de inversión de una planta industrial del tipo UASB están en el orden de 300 000- 750 000 USD para una capacidad de tratamiento de 1000 m<sup>3</sup>. Teniendo en cuenta que la operación no es compleja, el consumo energético es bajo y la consecuencia de ello son costos totales bajos, esto comparado con otro tipo de tratamiento de aguas residuales; esto unido a nuestro clima tropical donde la producción de metano se maximiza, hace que la digestión anaerobia con estos reactores se convierta en una alternativa

atractiva desde el punto de vista técnico-económico-social (Look Hulshoff Pol, Gatze Lettinga y Jin Field,1989).

Además de las ventajas intrínsecas de los procesos anaerobios, a través de estos procesos se obtienen subproductos los cuales pueden ser utilizados posteriormente, obteniéndose beneficios apreciables de su aprovechamiento. Estos son:

- Biogás producto gaseoso que puede ser empleado como combustible. Según los reportes energéticos 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a 0.55 L de fuel-oil. Este puede sustituir parte del combustible. (60 %) que se consume en las calderas de las propias plantas de destilación (Lema M. J. y col, 1992).
- Lodo estudios realizados han demostrado que su composición guarda riquezas en cuanto al contenido de materia orgánica y mineral, pudiendo emplearse como biofertilizante y mejorador de suelos. También se ha mostrado que debido a su composición aminoacídica, calidad sanitaria, concentraciones de nitrógeno y proteína bruta; puede ser utilizado como alimento animal (Lema M. J. y col, 1992).
- Efluente líquido según los resultados obtenidos en investigaciones, se ha demostrado que este conserva nitrógeno en forma fácilmente asimilable y otros iones los cuales enriquecen este residuo y lo hacen propicio para su uso en fertirriego (Lema M. J. y col, 1992).

El efluente del reactor tiene una eficiencia de remoción entre 65 y 80% en materia orgánica y en aguas residuales domésticas se reporta remociones entre 50 y 70 % de colifórmes fecales.

Las condiciones que se deberán conseguir en una planta de biorreactores UASB son:

- Obtener una separación efectiva de biogás, del manto de lodos y del líquido.
- Cultivar y mantener un lodo anaerobio de excelentes propiedades de sedimentabilidad y alta actividad específica.
- Realizar una distribución, lo más uniforme posible, desde el fondo del reactor.
- Las condiciones del diseño varían conforme al sustrato utilizado, pero se debe diseñar siempre con el objetivo de distribuir la carga (Atkinson B, 1986).

Existen dos partes esenciales en el UASB, el separador gas - sólido (que es la parte superior) y el reactor anaerobio.

El separador gas - sólido tiene por objetivos:

- Separar el biogás del licor mixto y las partículas flotantes .
- Separar las partículas de lodos dispersas / flóculos presentes en el compartimiento de sedimentación por asentamiento y / o entrapamiento en el manto de lodos.
- Permitir a los lodos separados deslizarse al compartimiento de digestión.
- Restringir expansiones excesivas del manto de lodos (Atkinson B, 1986).

Dentro del reactor se lleva a cabo diferentes procesos físicos, químicos y biológicos:

Físicos tales como:

- El flujo ascendente produce un lodo pesado y lava al que no tiene peso (generalmente materia coloidal).
- La oclusión y el ascenso del gas produce una mezcla en el reactor (Atkinson B, 1986).

Biológicos como:

- Hidrólisis de biopolímeros
- Hidrólisis de proteínas
- Hidrólisis de carbohidratos
- Hidrólisis de lípidos
- Fermentación de aminoácidos y azúcares a hidrógeno, acetato y cadenas cortas de ácidos grasos volátiles (AGV) y alcoholes.
- Oxidación anaeróbica de cadenas de ácidos grasos y alcoholes
- Oxidación anaeróbica de productos intermedarios, como ácidos volátiles
- Conversión de acetato a metano por organismos acetotróficos (bacteria acetoclásticos).
- Conversión de hidrógeno a metano por organismos hidrogenotróficos (Atkinson B, 1986).

Químicos como:

- Corrosión por desprendimiento de ácido sulfhídrico.
- Precipitación y solubilización de metales por reacciones químicas.
- Para lograr una buena fermentación en un RAFA es necesario que se cumpla:
  - La presión parcial del hidrógeno molecular sea abajo de  $10^{-6}$  atm.
  - El potencial de redox debe ser abajo de 330-111V.

- La reducción de sulfatos genera H<sub>2</sub>S que es tóxico para los metanógenos se aconsejan ratios de DQO/SO<sub>4</sub> < 7 y concentraciones de sulfatos menores a 1000 mg/l
- El pH recomendando entre 6.7 - 7.5 unidades.
- El rango de temperatura ideal es el mesofílico (20°C a 42°C) (Atkinson B, 1986).

Eléctricos como:

- Generación eléctrica
- Potencia
- Amperaje
- Cantidad de biogás producido por la planta de tratamiento por medio de biorreactores UASB (Atkinson B, 1986).

Variables:

- DQO, demanda química de oxígeno: es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica e inorgánica, contenida en el agua después de corregir la influencia de los cloruros. Es la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica a partir de un oxidante químico fuerte.
- Color: es una característica física que indica generalmente la presencia en el agua de sustancias disueltas y/o coloidales y/o suspendidas (color aparente). Cuando se elimina la turbiedad del agua por centrifugación o filtración se obtiene el color real. Da en general un aspecto desagradable al agua residual.

- Temperatura: un líquido caliente que vuelca a un curso receptor, puede aumentar la temperatura del entorno e incidir en la solubilidad del oxígeno disuelto en él, a mayor temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno, influye también en las velocidades de reacciones químicas, en la vida de la flora y la fauna acuática, en los usos del agua. Incide en los procesos biológicos, la temperatura óptima para el desarrollo bacteriano se encuentra comprendida en el rango de 25 a 35 °C, estos procesos se inhiben cuando se llega a los 50 °C.
- Turbiedad: es una característica física que indica la presencia en el agua de sustancias en suspensión y/o material coloidal, estos materiales dispersan o absorben la luz impidiendo su transmisión.
- PH: es una medida de la concentración del ión hidrógeno en el agua. Se expresa la concentración de este ión como PH, y se define como el logaritmo decimal cambiado de signo de la concentración de ión hidrógeno. Símbolo que se utiliza para la concentración de hidrogeniones, los valores de PH abarcan de 0 a 14 correspondiendo un valor de PH 7 si es neutro siendo menor a 7 ácido y mayor a 7 alcalino.
- Concentración del ion hidrógeno y de la acidez de soluciones acuosas: el agua pura tiene PH 7 y es considerado como neutro. Por encima de él se trata de soluciones básicas y por debajo de soluciones ácidas. El agua de lluvia oscila entre un PH 4.6 y 5.6
- Biogás: gas producido en fermentación de los residuos domiciliarios, en general tiene un alto contenido de Metano, es susceptible de ser usado con fines de generación de eléctrica o de uso domiciliario.

- Caudal: masa de contaminantes transferida al receptor por unidad de tiempo.



## **8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

Si se obtienen los niveles requeridos de las distintas variables, es posible generar energía eléctrica en cualquier planta de tratamiento de aguas residuales por medio de biorreactores UASB, acompañado de una inversión.



## 9. RESULTADOS ESPERADOS

- Observar las características del lodo total y establecer un efecto positivo en la sedimentación.
- Beneficiar a poblaciones para tener agua limpia y también llevar energía eléctrica a esas comunidades que no cuentan con la misma.
- Aumentar la cantidad metanógena sobre el ácido acético para el lodo total y la fracción granular que compruebe un aumento de biomasa, capaz de participar en la degradación del material orgánico alimentado sin efecto importante de la acumulación de material suspendido volátil e inerte.
- Evitar efectos negativos en el funcionamiento general del reactor UASB, al ser sometido a cargas de sólidos suspendidos.
- Generar con este tipo de tratamiento la cantidad óptima de biogás, para que sean autosuficientes y vender el excedente a la red eléctrica nacional.



## 10. CONTENIDO

Para realizar el siguiente trabajo y obtener todos los datos e información necesaria, el mismo se estructuró de la manera como se muestra a continuación:

ÍNDICE

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

PROBLEMA

METODOLOGÍA

1. SITUACIÓN ACTUAL SISTEMA ELÉCTRICO EN GUATEMALA
  - 1.1 Introducción
  - 1.2 Generación convencional en Guatemala
  - 1.3 Matriz energética en Guatemala
  
2. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
  - 2.1 Introducción
  - 2.2 Plantas de tratamiento por biorreactores UASB
  - 2.3 Beneficios de la generación de energía eléctrica por biogás
  - 2.4 Beneficios de la generación de energía eléctrica para las comunidades

### 3. ENERGÍAS RENOVABLES Y TECNOLOGÍAS ASOCIADAS A LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

3.1 Introducción

3.2 Análisis de las tecnologías asociadas

3.3 Oportunidades de implementación en Guatemala

### 4. IMPACTO AMBIENTAL

4.1 Introducción

4.2 Diagnostico ambiental

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

## 11. MÉTODOS Y TÉCNICAS

La población serán los habitantes de las colonias Fuentes del Valle ubicada en Villa Nueva, y la muestra será la población de las colonias Fuentes del Valle I, II y III, ya que la planta de tratamiento es común para las mismas, se tomará esta por su ubicación geográfica para poder cumplir con la premisa de una temperatura tropical para la creación del biogás. Los métodos y técnicas para el trabajo de graduación se dividirán en fases, quedando las mismas de la siguiente forma:

1. Organizar el proceso de elaboración del proyecto. Para esto se realizará una investigación bibliográfica para lograr una base acerca de la generación de energía eléctrica en una planta de tratamiento de aguas residuales, con esta base se logrará realizar dicho proceso de una manera efectiva.
2. Se establecerá en qué ubicaciones geográficas se puede realizar esta obtención de biogás para crear energía eléctrica en una planta de tratamiento de aguas residuales, y se tomarán diferentes valores a las aguas de la planta de tratamiento tales como: dco, color, temperatura, turbiedad, PH, biogas, caudal, en diferentes horarios para hallar las horas de aprovechamiento máximas y elevar así la generación eléctrica.
3. Se evaluará la obtención de biogás en diferentes plantas de tratamiento por biorreactores UASB, así como las condiciones optimas para poder dejar un precedente para futuras implementaciones de esta tecnología y obtener resultados positivos.

4. En esta última fase se hará un análisis financiero del proyecto para evaluar la rentabilidad económica, la misma se calculará con la ayuda de indicadores como TIR, VAN, CAUE, y otros.

En los mismos se utilizarán también costos sociales ya que en cierto momento la rentabilidad económica evaluada solo del punto de vista económico puede no ser rentable, pero si agregamos dichos costos el resultado puede cambiar por la cantidad de personas beneficiadas con la energía eléctrica, en lugares en donde está aún no ha llegado.

5. Investigación a través de internet para realizar un cuadro comparativo con los otros países en los cuáles se ha aplicado esta tecnología, evaluando las alternativas y metodologías utilizadas para evaluar sus ventajas.

#### Análisis estadístico propuesto

En este trabajo de investigación no se empleará un análisis estadístico propuesto, ya que lo que se busca con el mismo es conseguir y detallar las condiciones necesarias para crear biogás en una planta de tratamiento de aguas residuales.

## 12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Conocida la demanda del proyecto, se debe realizar una lista de acciones a desarrollar para llevar a cabo las etapas del mismo.

1. Definir una escala de tiempo: la misma se expresará en semanas, todo el proyecto tendrá una duración estimada de dieciocho semanas.
2. Listar las acciones que componen el proyecto:
  - 2.1 Determinar otras plantas de tratamiento distribuidas geográficamente para tener una buena información.
  - 2.2 Tomar muestras en cada planta de tratamiento de aguas residuales que utilicen biorreactores UASB.
  - 2.3 Estudiar los resultados en un laboratorio microbiológico.
  - 2.4 Analizar los resultados para empezar a realizar el informe.
  - 2.5 Elaborar el informe final.
3. Determinar el tiempo de duración de cada acción.
  - 3.1 Determinar otras plantas de tratamiento distribuidas geográficamente para tener una buena información.
  - 3.2 Tomar muestras en cada planta de tratamiento de aguas residuales que utilicen biorreactores UASB.
  - 3.3 Estudiar los resultados en un laboratorio microbiológico.
  - 3.4 Analizar los resultados para empezar a realizar el informe.
  - 3.5 Elaborar el informe final.



## 13. RECURSOS NECESARIOS

### Recurso humano

- Persona que realizará el trabajo de graduación (estudiante).
- Profesional que se encargara de la supervisión del mismo (asesor).
- Persona a cargo de la empresa (operador de la planta de tratamiento o inversionista).

### Recursos materiales

- Material proporcionado por la empresa o colonia en donde se encuentre la planta de tratamiento.
- Papel para impresión
- Computadora en la cual se pueda realizar el trabajo de graduación.
- Transporte

### Recursos financieros

- Útiles y papelería: Q. 200.00
- Gasolina: Q.800
- Impresiones: Q.950.00
- Gastos varios: Q2000.00
- Total: Q.3950.00



## 14. BIBLIOGRAFÍA

1. Apha, A. (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Extraído el 3 de abril del 2012 desde:  
[http://www.rabtherm.com/images/stories/Flyer\\_EN.pdf](http://www.rabtherm.com/images/stories/Flyer_EN.pdf)
2. Atkinson, B. (1986). *Reactores Bioquímicos*. España: Reverte S.A.
3. Claass, M. (2003). *Documentación e investigación de una pequeña planta técnica-biológica para aguas residuales de la producción del café, desde la planeación hasta la optimización*. Tesis doctoral, Facultad de Técnicas Ambientales y de Biotécnica. Universidad Fachhochschule Huyesen Friedberg of Germany.
4. Kaspar H.F. (1977). *Kinetic Parameters and Turnovers of Catabolic Reactors in Digesting Sludge*. Extraído el 8 de Septiembre del 2012 desde:  
[http://www.rabtherm.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=27&Itemid=28](http://www.rabtherm.com/index.php?option=com_content&task=view&id=27&Itemid=28)
5. Lema, M. J. (1992) *Bases Cinéticas y Microbiológicas en el diseño de digestores anaerobio*. España: Universidad Santiago de Compostela.
6. Look, H., Gatze Lettinga y Jin Field (1989) *Digestión Anaerobia y Reactores UASB*. Holanda: Universidad Agrícola de Wageningen.

7. Ministerio de energía y minas (2003). *Marco legal e institucional de las fuentes renovables de energía*. Decreto No.52-2003.
8. Moreno R.G. (1994). *Obtención de Lodos Granulares en un Reactor UASB a Partir de Lodos de Purga*. Extraído el 8 de Septiembre del 2012 desde: <http://www.lacasasostenible.com/tratamiento-aguas/tratamiento-aguas-ZZ>
9. Palacios R.M.G. (1993). *Producción de Lodo de Inóculo Anaerobio para Reactores UASB, a Escala Piloto*. Extraído el 12 de Septiembre del 2012 desde: <http://www.solislima.es/productos/9-bomba-de-calor.html>
10. Pavlostathis S.G. and Giraldo-Gomez E. (1991). *Kinetics of Anaerobic Treatment*. extraído el 9 de Septiembre del 2012 desde: <http://www.environmental-expert.com>