

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
DE GUATEMALA**

**Facultad de Ingeniería**



**“Diseño de un reactor anaeróbico para la producción de biogás a partir de levadura de desecho en una industria cervecera.”**

**Mariela Montenegro Reyes**

Guatemala  
2006



**“Diseño de un reactor anaeróbico para la producción de biogás a partir de levadura de desecho en una industria cervecera.”**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
DE GUATEMALA**

**Facultad de Ingeniería**

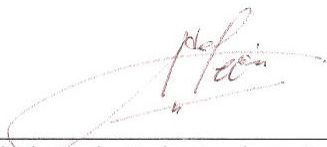


**“Diseño de un reactor anaeróbico para la producción de biogás a partir de levadura de desecho en una industria cervecera.”**

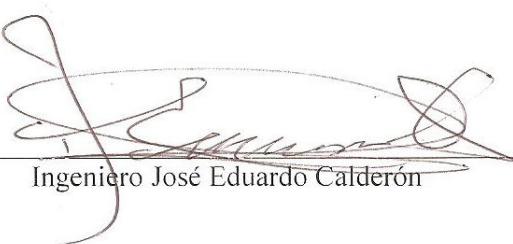
Trabajo de graduación presentado por Mariela Montenegro para optar al grado de Licenciatura de Ingeniería Química

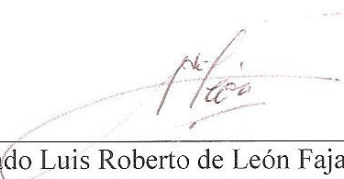
Guatemala  
2006

Vo.Bo.:

(f)   
Licenciado Luis Roberto de León Fajardo

Tribunal:

(f)   
Ingeniero José Eduardo Calderón

(f)   
Licenciado Luis Roberto de León Fajardo

(f)   
Ingeniero Jorge Luis Muñoz

Guatemala 15 de noviembre de 2006

## PREFACIO

Una de la materia prima principal para la fermentación en el proceso de cerveza es la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. La levadura es autolizada y llega a convertirse en concentrados de los componentes solubles de las células de levadura, que por hidrólisis celular se realiza sin la adición de otras enzimas. La levadura autolizada se conoce bajo el nombre de “extracto de levadura” y es utilizada principalmente en la fermentación como substratos. La levadura durante la fermentación tiene contacto con un nutriente llamado mosto, el cual es rico en azúcares siendo esta fuente de carbono esencial para la levadura, realizando una buena fermentación. Después de cierto tiempo, aproximadamente un mes, esta levadura pierde sus propiedades de fermentación y no llega a fermentar igual que al inicio. Esta levadura es desechada posteriormente. Una de las limitaciones principales en la obtención de la levadura de desecho, es que depende de la cantidad de tanques fermentadores que estén en proceso por lo que llega a ser una cantidad variable al día. Existen días en que se clarifican todos los tanques o días en que no existe descarga de levadura.

Agradezco a:

A Dios por su sabiduría, bendiciones e inmenso amor

A mis padres por su incondicional apoyo, amor y comprensión.

A mis hermanos por su compañía en todo momento

A mi familia por estar conmigo en todo momento

A mis amigos por siempre confiar en mí.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
PREFACIO.....	V
LISTA DE CUADROS.....	VIII
LISTA DE FIGURA.....	X
RESUMEN .....	XI
ABSTRACT.....	XII

### Capítulos

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	2
A. Manejo de desechos orgánicos.....	2
B. La levadura.....	3
1. Fisiología.....	4
2. Composición química .....	4
E. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	5
F. Demanda Biológico de Oxígeno (DBO).....	6
G. Producción de biogás.....	7
1. Composición.....	7
2. Aplicaciones.....	8

H. Reactor químico.....	10
J. Reactor de flujo ascendente de manto de lodos (UASB)....	11
1. Proceso del reactor de flujo ascendente.....	11
2. Consideraciones de diseño para el proceso UASB.....	12
3. Características del desecho.....	12
4. Carga orgánica volumétrica.....	13
5. Velocidad del flujo ascendente.....	14
6. Volumen y dimensiones del reactor.....	14
7. Colección de gas y separación de sólidos.....	15
8. Consideraciones futuras.....	15
III. JUSTIFICACIÓN.....	16
IV. OBJETIVOS.....	17
A. General.....	17
B. Específicos.....	17
V. PROBLEMA A RESOLVER.....	18
VI. METODOLOGÍA.....	19
VII. RESULTADOS.....	20
VIII. DISCUSIÓN.....	22
IX. CONCLUSIONES.....	25
X. RECOMENDACIONES.....	26
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	27
XII. APÉNDICE.....	28
XIII. GLOSARIO.....	42

## LISTA DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla 1	Composición química de la Levadura.....4
Tabla 2	Composición del biogás.....7
Tabla 3	Descarga volumétrica de DQO para un reactor UASB a 30 °C para un 85 a 95% de remoción de DBO.....13
Tabla 4	Tiempos de residencia APRA desechos domésticos.....14
Tabla 5	Velocidades de flujo ascendentes y alturas del reactor recomendadas.....14
Tabla 6	Guía para determinar el área servida por una entrada individual de alimentación de tubería como función de características de lodo.....15
Tabla 7	Pretratamiento térmico y lisis enzimática de la levadura de desecho.....20
Tabla 8	Demanda Química de Oxígeno y Demanda Biológica de Oxígeno a partir de la levadura de desecho.....20
Tabla 9	Dimensiones para el reactor anaeróbico UASB.....20
Tabla 10	Cantidad de metano producida y energía producida por el metano.....20
Tabla 11	Inversión inicial, Tasa Interna de Retorno (TIR) y años de recuperación para el análisis económico .....20
Tabla 12	Datos obtenidos para el pretratamiento térmico y lisis enzimática de la levadura de desecho para un conteo de 200 levaduras.....28

**Página**

Tabla 13	Datos obtenidos para demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno.....	28
Tabla 14	Caudales de descarga de la levadura de desechada.....	28
Tabla 15	Carga volumétrica orgánica ( $L_{org}$ ) recomendada en función de la temperatura para un 85 % -95 % de remoción de DQO.....	36
Tabla 16	Valores típicos importantes sobre propiedades físicas y químicas del gas metano producido en un reactor (UASB).....	36
Tabla 17	Tasa de depreciación, aplicada al costo inicial mediante el método (SMARC).....	39
Tabla 18	Descripción del flujo de caja para los primeros 5 años proyectados.....	40
Tabla 19	Descripción del flujo de caja para los siguientes 5 años proyectados.....	40
Tabla 20	Flujos presentes para la obtención del VAN para 10 años con una tasa de interés de 15 %.....	41
Tabla 21	VAN, Tasa Interna de Retorno (TIR) y años de recuperación.....	41

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1 Molécula de Metano.....	7
Figura 2 Aplicaciones del biogás.....	8
Figura 3 a) proceso original del UASB b) reactor UASB con tanque sedimentador y reciclaje de lodos c) Reactor UASB con empaque interno.....	11
Figura 4 Plano de construcción del reactor anaeróbico de flujo ascendente de manto de lodos (UASB).....	21
Figura 5 Balance de masa para el reactor anaeróbico de flujo ascendente de manto de lodos (UASB).....	37

## RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo consistió en diseñar un reactor anaeróbico de flujo ascendente de manto de lodos (UASB) para la producción de metano, donde se utilizó levadura de desecho de una industria cervecera para la producción de dicho biogas. Para que el reactor trabaje a condiciones óptimas, la levadura que se toma como afluente debe tener un pretratamiento térmico y lisis enzimática, esto para matar la levadura así como romper las paredes celulares. Se realizaron varios choques térmicos a temperaturas de 60 °C y 10 °C por lo que el promedio del porcentaje de levaduras muertas fue de 99.99 % y de pared celular rota fue de 79.09 %.

Para obtener las dimensiones del reactor anaeróbico fue necesario medir la carga orgánica de la levadura a partir de la demanda química de oxígeno y la demanda biológica de oxígeno dando como resultado una carga orgánica de 900 g/L y 885.00 g/L respectivamente ya que a mayor cantidad de carga orgánica mayor es la cantidad de biogas (metano) que se produce, el cual puede ser utilizado como combustible alternativo u otros usos. El volumen del líquido ingresado al reactor dio como resultado 144.00 m<sup>3</sup> con una área de 23.00 m<sup>2</sup> un diámetro de 5.50 m y una altura de 9.00 m siendo 2.5 m para el colector de gas.

La producción de metano en el reactor anaeróbico a partir de un flujo de entrada de 541.20 m<sup>3</sup>/d y 1800 kg DQO/d de carga orgánica fue de 825.52.94 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/d con una producción de energía de 2.26 x10<sup>7</sup> kJ/d. El reactor tiene una eficiencia de remoción de materia orgánica biodegradable de 85 %. Se recomienda cada cierto tiempo medir la carga orgánica del afluente que se va ingresar al reactor, esto para poder determinar con certeza la cantidad de metano que se produce.

## ABSTRACT

The main objective of this investigation consisted in designing a reactor of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) for methane production; brewery industry waste yeast was used. In order to work the reactor in optimum conditions, the influent must have a thermal pretreatment and enzymatic lysis to kill the yeast and break the cell wall. Several thermic shocks were made, at 60°C and 10°C and the average of mortality for yeasts cell was of 99.99% and for rupture of the cell wall was 79.09%.

To obtain the dimensions of the anaerobic reactor, it was necessary to measure the organic load of the yeast from the chemical and biological oxygen demand, resulting in a organic load of 900 g/L and 885g/L respectively, because the larger the organic load, the larger the biogas production (methane) is, which can be used as a alternate fuel. The liquid volume entering in the reactor resulted in 144.00 m<sup>3</sup> that could be contained in a cylinder of 23.00 m<sup>3</sup> (5.50 m od diameter) and 9.00 m total height about 2.5 m for the as collector.

The methane production in the anaerobic reactor from the entry up flow was 521.20 m<sup>3</sup>/d and 2,541 DQO/d of organic load was 825.52 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/d with an energy production of 271 x10<sup>7</sup> kJ/d. The reactor has the 85% efficiency in biodegradable organic material removal. It is recommended to measure the organic flow every certain time, in order to determine with certainty the amount of potentially production of methane gas.

# I. INTRODUCCIÓN

La producción de cerveza se lleva a cabo por varias etapas, entre ellas se encuentra la de fermentación, donde se utiliza levadura, siendo éstas la *Saccharomyces cerevisiae* y *S. uvarum*. La cual después de varios ciclos de fermentación pierde sus propiedades y deja de ser eficiente para el proceso, por lo que se desecha. Parte de la levadura que se descarta se utiliza para comida de ganado y la otra parte es desechada al medio ambiente. El porcentaje que no tiene ningún uso, es considerablemente grande, representando contaminación ambiental y pérdida de dinero para la industria cervecera, ya que puede reutilizarse para nuevos recursos. Dicha levadura pierde sus propiedades de fermentación, pero todavía contiene otras propiedades, ya que contiene materia orgánica utilizable para otros propósitos, como la producción de biogas. La utilización de dicha levadura como materia orgánica en un reactor puede ser factible para la producción de biogas y así obtener combustible alterno.

Este trabajo consistió en realizar un pretratamiento térmico y de lisis enzimático, para poder medir la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda biológica de oxígeno (DBO) presente en la levadura, de esta manera determinar la cantidad de carga orgánica que dicha levadura de desecho contiene y poder conocer la cantidad de metano a producir, así como el dimensionamiento del reactor anaeróbico de flujo ascendente de manto de lodos (UASB).

## II. ANTECEDENTES

### A. Manejo de desechos orgánicos

Existen tres estrategias para el manejo de desechos:

- Aplicar el método de tratamiento al final de la producción, donde se tratan individualmente todas las descargas o desechos de la planta. (Noriega, 2000: 3 )

Esta estrategia es la más utilizada, ya que se centraliza todo el equipo de tratamiento en cierto lugar, se simplifica el manejo del desecho. El tratamiento significa tratar todos los desechos líquidos, sólidos y/o gaseosos generados por la planta, incluyendo en ciertos casos los efluentes que no están contaminados, lo que requiere una inversión extra. (Noriega, 2000: 3)

- Tratar individualmente la fuente del contaminante a través de la planta.

Esta significa un control de la fuente problema, reconocer que en la planta los contaminantes surgen en ciertos puntos dentro esta. Sin embargo, diseñar alternativas de control para estas fuentes requiere un análisis de todo el proceso. Debido a que al ejercer este análisis es necesario instalar sistemas de control en diferentes lugares de la planta, los reactivos deben ser suministrados para estos lugares y debe haber una responsabilidad para manejar correctamente estos sistemas de control. Este sistema de control en ciertos casos puede ser realizado por lo operadores, pero es necesario en ciertas ocasiones consulta externa. (Noriega, 2000: 3)

- Modificar o reemplazar todo el proceso para evitar generar contaminantes.

Dicha opción es cambiando completamente el proceso, siendo la mejor opción ambientalmente, sin embargo este proceso generalmente requiere investigación y desarrollo, lo cual puede tomar desde meses hasta años para su planificación. Puede crear problemas en el producto, lo cual afectaría las especificaciones del producto para su comercialización, y esto se debe a que el producto se está creando por un proceso diferente. Una inversión en el proceso o en el desarrollo de un producto, siempre se justifica si se tiene un prospecto para un futuro empresarial donde de mejore la economía de la empresa, y no por aspectos ambientales. (Noriega, 2000: 3)

Los cambios en el proceso se pueden justificar en ciertas situaciones. Por ejemplo, añadir sistemas de enfriamiento o calefacción puede reducir la cantidad de gases o líquido descargados durante el

proceso y se obtiene un gran reembolso de la inversión, mientras se contribuye al ambiente requiriendo poca investigación. (Noriega, 2000: 4)

Desechos sólidos orgánicos (se le denominan a los desechos biodegradables que son putrescibles): restos alimentos, desechos de jardinería, residuos agrícolas, animales muertos, huesos, otros biodegradables excepto la excreta humana y animal. (Farina , 1986)

Desechos sólidos inorgánicos (se le denomina a los desechos sólidos inorgánicos, considerados genéricamente como "inertes"), en el sentido que su degradación no aporta elementos perjudiciales al medio ambiente, aunque su dispersión degrada el valor estético del mismo. (Farina , 1986)

Desechos industriales: La cantidad de residuos que genera una industria es función de la tecnología del proceso productivo, calidad de las materias primas o productos intermedios, propiedades físicas y químicas de las materias auxiliares empleadas. (Farina , 1986)

## **B. La levadura**

La levadura en varias industrias se desecha luego de utilizarse en procesos de fermentación, sin embargo luego de dicho uso, ésta se puede tratar para obtener distintos productos. Mucho del valor de la levadura en la nutrición humana y la medicina depende en la alta concentración de vitaminas. La proteína de la levadura y los aminoácidos del cual está compuesto, también contribuyen a este valor. (Noriega, 2000: 5)

Las levaduras son hongos microscópicos unicelulares, que se producen asexualmente (por germinación y división) y sexualmente (esporulación). Constituyen uno de los grupos más importantes de microorganismos y se emplean en muchos procesos de fermentación, en la síntesis de compuestos orgánicos como lo son los fertilizantes, como combustible alterno y suplemento la alimentación. (Noriega, 2000: 5)

Las levaduras constituyen un grupo de microorganismos esencialmente heterogéneo, que se encuentra en gran variedad de condiciones y cuyas necesidades de nutrición son relativamente sencillas. (Noriega, 2000: 6)

Los materiales con concentración alta de azúcares son buenos substratos para la proliferación de las levaduras, especialmente a la levadura *S. Saccharomyces* se le conoce como “hongos de azúcar”. Las levaduras se encuentran casi siempre en la superficie de los frutos, y por ello, en cuanto estos terminan de madurar, se fermentan. (Noriega, 2000: 6)

Las levaduras se aíslan de las fuentes naturales mediante el empleo de medios de cultivos selectivos. Existen medios que al ser inoculados con el material natural estimulan el desarrollo de la levadura, pero impiden o reprimen la proliferación de otros microorganismos como bacterias, mohos y otras levaduras salvajes. Las levaduras toleran un pH bajo, por lo que el descenso de éste es un método útil para eliminar el crecimiento de bacterias, mohos y levaduras competidoras. (Noriega, 2000: 7)

**1. Fisiología.** Cuando una levadura crece activamente en un medio nutritivo completo, puede sintetizar todos los componentes del material celular de nueva formación a partir de los alimentos relativamente sencillos del medio de cultivo. La energía requerida por la célula de levadura para verificar estas reacciones de síntesis (asimilación), procede de la destrucción (desasimilación) de un substrato provisto de gran riqueza energética. Muchas de las reacciones metabólicas de las células de la levadura son extremadamente complejas y difíciles de realizar, sin embargo con la ayuda de enzimas y catalizadores orgánicos formados por la célula, la levadura puede efectuar estas reacciones con facilidad. Las levaduras tienen buena asimilación de las sustancias nitrogenadas y además buena síntesis de proteínas. (Noriega, 2000: 7)

**2. Composición química de la levadura.** Cuando la levadura cervecera es afectada por su estado fisiológico. Tiene la siguiente composición

**Tabla 1: Composición química de la levadura**

<b>Compuesto</b>	<b>Composición</b>
Humedad (prensada)	70-75 %
Proteínas (Nx65)	40-45 % peso seco
Aminoácidos	0.8-3.0 %
<b>Compuesto</b>	<b>Composición</b>
Grasas	2-7 %
Lípidos totales	61.2 mg/g
Lípidos neutros	28.3 mg/g
Squaleno	7.6 mg/g
Esteres esterol	1.2 mg/g
Triglicéridos	12.3 mg/g
Esteroles libres	0.2 mg/g
Di – y monoglicéridos y ácidos libres	5.2 mg/g

Inorgánicos	6-10 %
Fosfatos	1.5-3.0 %
Potasio	1.5-3.0 %
Cloruros	0.1-0.4 %
Calcio	0.1-0.3 %
Magnesio	0.1-0.3 %
Sodio	0.1-0.2 %
Hierro	0.01-0.06 %
Zinc	0.003-0.006 %
Cobre	0.0003-0.006 %
Manganeso	0.001-0.003 %

(Noriega, 2000: 8)

### C. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mg O<sub>2</sub>/litro. ( APHA, AWWA, WPCF, 1992, 5-12)

Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos, acuíferos, etc.), aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica. No es aplicable para las aguas potables debido al valor tan bajo que se obtendría y, en este caso, se utiliza el método de oxidabilidad con permanganato potásico. (APHA, AWWA, WPCF, 1992, 5-12)

El método mide la concentración de materia orgánica. Sin embargo, puede haber interferencias debido a que haya sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros, etc.). (APHA, AWWA, WPCF, 1992, 5-12)

El procedimiento se basa en la oxidación de la materia utilizando dicromato de potasio como oxidante en presencia de ácido sulfúrico e iones de plata como catalizador. La disolución acuosa se calienta bajo reflujo durante 2 h a 148 °C. Luego se evalúa la cantidad del dicromato sin reaccionar titulando con una disolución de hierro (II). La demanda química de oxígeno se calcula a partir de la diferencia entre el dicromato añadido inicialmente y el dicromato encontrado tras la oxidación. Basándose en el mismo principio se puede utilizar la espectroscopía ultravioleta-visible, mediante mediciones fotométricas del color producido por la reducción del dicromato a cromato posterior a la digestión. (APHA, AWWA, WPCF, 1992, 5-12)

## **D. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)**

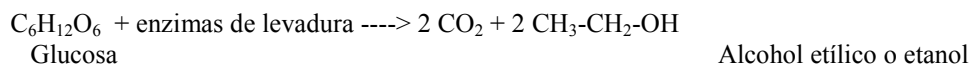
Demanda Biológica de Oxígeno es una prueba que mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia mediante procesos biológicos aerobios. La DBO es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media (tiempo en que descompone la mitad de la cantidad inicial de materia orgánica) del elemento nutritivo. (APHA, AWWA, WPCF, 1992, 5-2)

Existen distintas variantes de la determinación de la Demanda biológica de Oxígeno, entre ellas la que se refiere al período de incubación. La más frecuente se refiere a la DBO a los cinco días ( $DBO_5$ ). La demanda bioquímica de oxígeno se expresa en partes por millón (ppm) de oxígeno y se determina midiendo el proceso de reducción del oxígeno disuelto en la muestra manteniendo la temperatura a 20 °C en un periodo de 5 días. Una DBO grande indica que se requiere una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua. (APHA, AWWA, WPCF, 1992, 5-2)

La técnica utilizada de medición es la siguiente: Se introduce un volumen definido de la muestra líquida en un recipiente opaco que evite que la luz pueda introducirse en su interior (se eliminarán de esta forma las posibles reacciones fotosintéticas generadoras de gases), se introduce un agitador magnético en su interior, y se tapa la boca de la botella con un capuchón de goma en el que se meten unas pocas lentejas de sosa. Se cierra la botella con un sensor piezoeléctrico, y se introduce en una estufa refrigerada a 20 °C. (APHA, AWWA, WPCF, 1992, 5-2)

Las bacterias irán oxidando la materia orgánica del interior de la disolución, con el consecuente gasto de oxígeno del interior de la botella. Estas bacterias, debido al proceso de respiración, emitirán dióxido de carbono que será absorbido por las lentejas de sosa. Este proceso provoca una disminución interior de la presión atmosférica, que será medida con el sensor piezoeléctrico. (APHA, AWWA, WPCF, 1992, 5-2)

A la descomposición de la materia orgánica en presencia de oxígeno se le llama aerobiosis y es el proceso más eficiente para liberar la energía de la materia orgánica. A los procesos de descomposición bacteriana anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de la materia orgánica se le llama anerobiosis. A la descomposición anaeróbica (por enzimas producidas por levaduras) de los carbohidratos o azúcares se le llama fermentación y a la descomposición bacteriana anaeróbica de las proteínas se le llama putrefacción. La fermentación de un azúcar por enzimas de levaduras, por ejemplo de la glucosa, se puede representar en términos generales, mediante la ecuación química: (APHA, AWWA, WPCF. 1992. 5-2)



## E. Producción de biogás

**1. Composición.** El biogás, es un gas combustible que se genera artificialmente, en dispositivos específicos, mediante la acción de unos seres vivos (bacterias metanogénicas), en ausencia de aire (esto es, en un ambiente anaeróbico). Cuando la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno, actúa este tipo de bacterias, generando biogás. (Werner , 1989)

De modo natural se produce en la putrefacción de la materia orgánica y se llama gas de los pantanos o gas natural.

Su composición es variable pero en líneas generales:

**Tabla 2: composición del biogás**

Metano, CH <sub>4</sub>	40 – 70 % volumen
Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub>	30 - 60
Sulfuro de hidrógeno, H <sub>2</sub> S	0 - 3
Hidrógeno, H <sub>2</sub>	0 - 1

(Werner, 1989)

El metano, principal componente del biogás, es el gas que le confiere las características combustibles al mismo. El valor energético del biogás por lo tanto, estará determinado por la concentración de metano - alrededor de 20 – 25 MJ/m<sup>3</sup>, comparado con 33 – 38 MJ/m<sup>3</sup> para el gas natural (Werner et al ,1989).

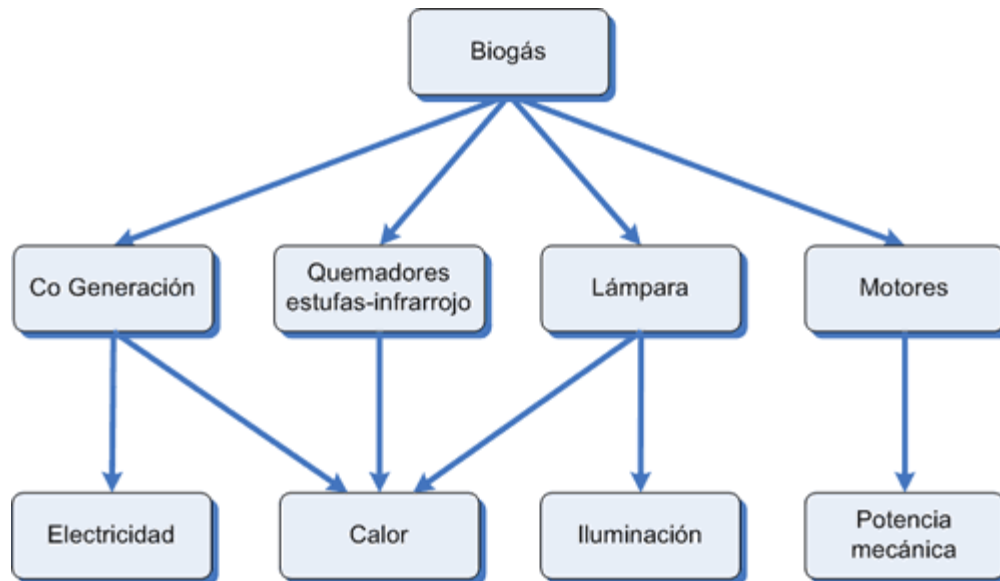
Figura 1 Molécula de Metano



**2. Aplicaciones.** La producción de metano a partir de desechos orgánicos (animales y vegetales) mediante fermentación anaeróbica ha proporcionado una serie de ventajas adicionales a la producción misma del recurso energético conocido como biogás. ( Mitzlaff, Klaus, 1988)

Entre éstas cabe mencionar las siguientes:

Figura 2: aplicaciones del biogás



Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, agrandando el paso del gas de los quemadores. La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace promisorio e interesante su utilización a gran escala. ( Mitzlaff, Klaus, 1988)

Las lámparas a gas tienen una muy baja eficiencia y el ambiente donde se las utilice debe estar adecuadamente ventilado para disipar el calor que generan. ( Mitzlaff, Klaus, 1988)

Las heladeras domésticas constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogás debido a que tienen un consumo parejo y distribuido a lo largo de las 24 horas del día lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas. Estos equipos funcionan bajo el principio de la absorción (generalmente de ciclo amoníaco refrigerante - agua absorbente). ( Mitzlaff, Klaus, 1988)

El biogás puede utilizarse en motores de combustión interna tanto a gasolina como diesel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido. ( Mitzlaff, Klaus, 1988)

En los motores de Ciclo Otto el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100% de biogás con una merma de la potencia máxima del 20% al 30%. ( Mitzlaff, Klaus, 1988)

A los motores de Ciclo Diesel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control manteniendo el sistema de inyección convencional. De esta manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogás diesel y pueden convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro lo cual los hace muy confiables. El gasoil no puede ser reemplazado en los motores funcionando a campo del 85 % al 90 %, debido a que la autonomía conseguida menor comparada con la original. ( Mitzlaff, Klaus, 1988)

La proporción de  $H_2S$  en el biogás causa deterioros en las válvulas de admisión y de escape de determinados motores obligando a un cambio más frecuente de los aceites lubricantes. El grado de deterioro en los motores varía considerablemente y los resultados obtenidos experimentalmente suelen ser contradictorios. ( Mitzlaff, Klaus, 1988)

Los motores a biogás tienen amplio espectro de aplicación siendo los más usuales el bombeo de agua, el picado de raciones y el funcionamiento de ordeñadoras en el área rural. El otro uso muy generalizado es su empleo para activar generadores de electricidad. ( Mitzlaff, Klaus, 1988)

Los sistemas de cogeneración. Dichos sistemas buscan la mayor eficiencia en el aprovechamiento de la energía contenida en el biogás. En estos casos la potencia mecánica provista por el eje del motor es aprovechada para generar electricidad a través d un generador. Simultáneamente y por medio de una serie de intercambiadores de calor ubicados en los sistemas de refrigeración (agua y aceite) del motor y en la salida de los gases de escape, se recupera la energía térmica liberada en la combustión interna. De este modo se logra un mejor aprovechamiento de la energía. ( Mitzlaff, Klaus, 1988)

La difusión de estos sistemas estará condicionada por la rentabilidad final. Sin embargo representa la utilización más racional del biogás ya que se obtiene una forma de energía extremadamente dúctil como la electricidad al mismo tiempo que una fuente de calor muy necesaria para la calefacción de digestores en zonas frías. ( Mitzlaff, Klaus, 1988)

El uso vehicular del biogás es posible y en la realidad se ha empleado desde hace bastante tiempo. Sus aplicaciones son diversas.

Aplicaciones:

- Reduce olores en la utilización de los desechos. ( Muche H, Zimmermann H, 1985 )

- Evita la contaminación ambiental y la propagación de malos olores. ( Muche H, Zimmermann H, 1985 )
- Reduce la población de elementos portadores de enfermedades (tales como moscas y otros insectos). ( Muche H, Zimmermann H, 1985 )
- Deja un residuo sólido inodoro de excelentes características fertilizantes.
- Utilización como combustible doméstico. ( Muche H, Zimmermann H, 1985 )
- Requerimientos de área mínima. ( Muche H, Zimmermann H, 1985 )
- Bajo o ningún requerimiento de energía. ( Muche H, Zimmermann H, 1985 )
- Baja producción de lodo. ( Muche H, Zimmermann H, 1985 )
- Presenta un sistema de separador de sólidos y gases que evita un proceso de decantación secundaria. ( Muche H, Zimmermann H, 1985 )
- Sistema autoregulado. ( Muche H, Zimmermann H, 1985 )
- Se ha desarrollado un tipo de reactor, UASB (reactor de flujo ascendente con lechos de lodo), sencillo en su construcción, operación y eficiencia de tratamiento de residuales y producción de biogas. ( Muche H, Zimmermann H, 1985 )
- Con perturbaciones en la carga aplicada del 25 al 50 % la digestión responde bien y retorna a las condiciones normales de operación en 10- 15 días. ( Muche H, Zimmermann H, 1985 )
- El biogás tal como se genera es combustible, siendo el metano el que le da las cualidades energéticas. ( Muche H, Zimmermann H, 1985 )

## **F. Reactor químico**

Un reactor químico es una unidad procesadora diseñada para que en su interior se lleven a cabo una o varias reacciones químicas. Dicha unidad procesadora está constituida por un recipiente cerrado, el cual cuenta con líneas de entrada y salida para sustancias químicas, y está gobernado por un algoritmo de control. (Farina , 1986)

Los reactores químicos tienen como funciones principales:

- Asegurar el tipo de contacto o modo de fluir de los reactantes en el interior del tanque, para conseguir una mezcla deseada con los materiales reactantes. (Farina , 1986)
- Proporcionar el tiempo suficiente de contacto entre las sustancias y con el catalizador, para conseguir la extensión deseada de la reacción. (Farina , 1986)

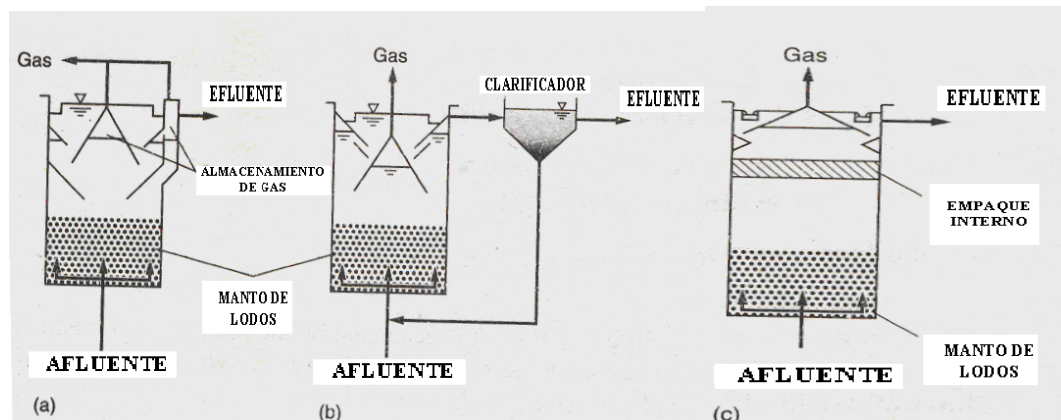
Permitir condiciones de presión, temperatura y composición de modo que la reacción tenga lugar en el grado y a la velocidad deseada, atendiendo a los aspectos termodinámicos y cinéticos de la reacción. (Farina , 1986)

## G. Reactor de flujo ascendente de manto de lodos (UASB)

Uno de los desarrollos más notables en el proceso tecnológico en el tratamiento anaeróbico fue el UASB en los finales del setenta en Holanda por Lettinga y sus compañeros de trabajo en 1980. Los principales tipos de UASB incluyen 1) El proceso original del reactor anaeróbico de flujo ascendente de manto de lodos (UASB) y modificación de proceso original, 2) el reactor ABR 3) El reactor de manto anaeróbico (AMBR). (Metcalf, Eddy, 2003: 1005)

**1. Proceso del reactor de flujo ascendente.** El afluente del desecho es distribuido en la parte de abajo del UASB y viaja de una manera ascendente hacia el manto de lodo (ver figura 3(a)). Elementos críticos del UASB es el sistema de distribución de afluente, el separador de gas y sólidos, y el diseño del afluente del desecho. Modificaciones al diseños básicos del UASB es agregar un tanque de sedimentos (ver figura 3(b)) o el uso de materiales empacados en la parte alta de reactor (ver figura 3(c)). Ambas modificaciones son intentadas para proveer una mejor captura de los sólidos en el sistema y prevenir grandes pérdidas de sólidos a consecuencia de descompensaciones o cambios de las características del manto del lodo y su densidad. El uso del sistema de la captura de sólidos externos para prevenir mayores pérdidas de biomasa es recomendado (Metcalf, Eddy, 2003: 1005)

Figura 3 a) proceso original del UASB b) reactor UASB con tanque sedimentador y reciclaje de lodos c) Reactor UASB con empaque interno



La llave futura del proceso de UASB que permite el uso de alto volumen de demanda química de oxígeno comparado a otros proceso anaeróbicos es debido a un alto manto de lodos granulado. Debido a la formación de manto granulado ya floculado los sólidos concentrados pueden variar de 50-100 g/L en la parte baja del reactor y de 5-40 g/L en una zona más difusa en la parte alta del manto de lodo del UASB. Las partículas del manto granulado tienen un tamaño entre 1.0- 3.0 mm y resulta una excelente propiedad espesor del manto con valores del SVI 20 mL/g. Varios meses se requiere para

desarrollar el manto granulado y a menudo las semillas se proveen para acelerar el sistema de arranque.

Se observa variaciones de morfología para el desarrollo del manto granulado anaeróbico de 20°C y 30 °C pero a ambas temperaturas mostraron el tamaño similar del floculado y sus propiedades. (Metcalf, Eddy, 2003: 1006)

El desarrollo de sólido del manto granulado le afectan las características del desecho. La granulación es efectiva con alto carbohidratos o desperdicio de azúcar pero menos con altos desperdicios de proteínas dando como resultado un floculo más bofo. Otros factores que afectan los sólidos granulados es el pH, velocidad del flujo ascendente y nutrientes adiciones. El pH debe mantenerse cerca de 7.0 y recomendado un radio de DQO: N:P durante arranque de 300:5.1, mientras el radio bajo puede se usado bajo operación estática de 600:5.1. Una velocidad del flujo ascendente se recomienda durante el arranque teniendo la velocidad lo suficientemente alta para lavar el manto no floculado. (Metcalf, Eddy, 2003: 1007)

La presencia de otros sólidos suspendidos puede inhibir la densidad y formación del manto granulado. La formación densa de partículas del floculo del manto granulado son favoritas bajo condiciones neutrales de pH y el régimen de la descarga del floculos hidráulica. Una zona alta de presión de partículas de hidrógeno, una provisión  $\text{NH}_4\text{-N}$  y una cantidad limitada de aminoácidos de cisteína. Con una concentración alta de hidrogeno y suficiente  $\text{NH}_4\text{-N}$  la bacteria responsable por la granulación puede producir otros aminoácidos, pero su síntesis es limitada por la provisión de cisteína. Los aminoácidos extras que son producidos serán utilizados para producir polipéptidos los cuales a su vez serán unidos para formar una densa cama o floculos granulados. (Metcalf , Eddy, 2003: 1007)

**2. Consideraciones de diseño para el proceso UASB.** Las consideraciones importantes del diseño son 1) Características del desecho en términos de composición y contenido sólido 2) Carga orgánica volumétrica 3) Velocidad de flujo ascendentes 4) Volumen de reactor 5) Futuras consideraciones del sistema de distribución del afluente y 6) El sistema de colección del gas. (Metcalf, Eddy, 2003: 1007)

**3. Características del desecho.** Los desechos que contienen sustancias que puede afectar adversamente el flujo de granulación pueden causar espuma y formación de basura siendo esto lo que importa. Los desechos con altos contenidos de proteínas y grasas tienden a crear más de los problemas anteriores. La fracciones de partículas vs la solubilidad de la demanda química de oxígeno es importante en la determinación del diseño de carga para los reactores UASB, también la determinación de aplicación del proceso. Así como la fracción de los sólidos en el desecho aumenta, la habilidad de formar el manto de granulado denso decrece. A cierta cantidad de concentración de sólidos (mas grande 6 g TSS/L) la digestión anaeróbica y el proceso de contacto anaeróbico puede ser más apropiado. (Metcalf, Eddy, 2003: 1007)

**4. Carga orgánica volumétrica.** Cargas típicas de demanda química de oxígeno como una función fuerte de desecho de agua, fracción de partículas de DQO en el desecho y concentración TSS en el

afluente se resume en la tabla 3. Eficiencia de remover de 90-95 de DQO se ha alcanzado a cargas de DQO de 12- a 20 kg/m<sup>3</sup>d en una variedad de desechos a 30 °C -35 °C grados con los reactores UASB. Valores  $\tau$  (tiempo de residencia) para una fuerza alta de desecho han sido tan bajas como de 4-8 h en estas cargas. No menos que el 90 % de remoción de DQO y afluentes altos de concentración de TSS son aceptables, velocidades de afluente altas puede ser usadas, lo cual desarrolla un flujo granulado más denso por medio desechar otro sólidos. Las cargas altas volumétricas se muestran por esta condición. (Metcalf , Eddy, 2003: 1007)

**Tabla 3: Descarga volumétrica de DQO para un reactor UASB a 30 °C para un 85 a 95 % de remoción de DQO.**

AGUA RESIDUAL DQO, mg /L	FRACCIÓN COMO PARTÍCULA DQO	DESCARGA VOLUMÉTRICA, kg DQO / m <sup>3</sup> d		
		LODO FLOCULENTO	LODO GRANULAR CON ALTA REMOCIÓN DE SÓLIDOS	LODO GRANULAR CON PEQUEÑA REMOCIÓN DE SÓLIDOS
1000-2000	0.10-0.30	2-4	2-4	8-12
	0.30-0.60	2-4	2-4	8-14
	0.60-1.00	na	na	na
2000-6000	0.10-0.30	3-5	3-5	12-18
	0.30-0.60	4-8	2-6	12-24
	0.60-1.00	4-8	2-6	na
6000-9000	0.10-0.30	4-6	4-6	15-20
	0.30-0.60	5-7	3-7	15-24
	0.60-1.00	6-8	3-8	na
9000-18,000	0.10-0.30	5-8	4-6	15-24
	0.30-0.60	na	3-7	na
	0.60-1.00	na	3-7	na

Es recomendado cargas como una función de temperaturas para el desecho de agua altamente soluble de DQO estas cargas aplican al volumen del manto de lodos, y efectividad del factor de reactor de 0.8-0.9, es usado para determinar el líquido reactor bajo el colector de gas. Una alta carga se recomienda para el desecho de agua conteniendo altos ácidos volátiles de grasas (VFA) está basado en el potencial de obtener más manto denso granulado. Valores de diseño de  $\tau$  (tiempo de residencia) son también dados para el tratamiento de desechos de domesticas tabla 4 basado en la experiencia de una planta piloto. El valor del tiempo de residencia es más grande que el usado en el proceso aeróbico para un tratamiento secundario para remover la demanda biológica de oxígeno (DBO). Los beneficios económicos del ahorro de energía y la producción baja de lodo podría ser suficiente para justificar el alto costo capital de tratamiento de líquido de un proceso de UASB. (Metcalf, Eddy, 2003: 1008)

**Tabla 4: Tiempos de residencia APRA desechos domésticos**

TEMPERATURA °C	PROMEDIO $\tau$ , h	MÁXIMO $\tau$ PARA 4 A 6 h, PICO, h
16-19	10-14	7-9
22-26	7-9	5-7
>26	6-8	4-5

**5. Velocidad del flujo ascendente.** La velocidad del flujo ascendente basada en la tasa de flujo y área del reactor es un parámetro del diseño crítico. Se recomienda la velocidad de la Tabla 5. Temporalmente superficie a altas de velocidad de 6 m/h y 2m/h pueden ser permitidas para partículas solubles de desecho. Para débiles desechos las velocidades y altura del reactor puede ser determinada por el volumen del reactor y para más fuertes desecho se determinará por el volumen de carga del COD. (Metcalf , Eddy, 2003: 1008)

**Tabla 5: Velocidades de flujo ascendentes y alturas del reactor recomendadas**

TIPO DE AGUA RESIDUAL	VELOCIDAD DE FLUJO ASECENDENTE m/h		ALTURA REACTOR, m	
	RANGO	TÍPICO	RANGO	TÍPICO
DQO CON SOLUBILIDAD CERCANA AL 100%	1.0-3.0	1.5	6-10	8
DQO PARCIALMENTE SOLUBLE	1.0-1.25	1.0	3-7	6
AGUAS DOMÉSTICAS	0.8-1.0	0.7	3-5	5

**6. Volumen y dimensiones del reactor.** Para determinar el volumen y dimensión del reactor, la carga orgánica, la velocidad superficial y el volumen efectivo de tratamiento debe ser considerado. El volumen efectivo del tratamiento es el volumen ocupado por el manto de lodo y la biomasa activa. Existe un volumen adicional entre el volumen efectivo y a unidad de colección del gas donde ocurre separación de sólidos adicionales y se disuelve la biomasa. (Metcalf , Eddy, 2003: 1010)

**7. Colección de gas y separación de sólidos.** El separados de gas sólidos se diseña para colectar el biogás, prevenir lavado de sólidos, alentar la separación de gas y partículas sólidas, permitir a los sólidos que regresen dentro de la zona del manto de lodo y ayuda a mejorar la remoción de afluentes de sólidos.

Las ventajas del proceso UASB son descargas altas y relativamente tiempo de residencia bajos para el tratamiento anaeróbico y materia de empaque. El proceso UASB es probado con una escala llena de quinientas opciones en operación. Las limitaciones son relativas al desperdicio de agua que es alta en los contenidos sólidos o donde sus prevenciones naturales de desarrollo del manto granulado denso. (Metcalf, Eddy, 2003: 1011)

**8. Consideraciones futuras.** Las principales consideraciones futuras requieren una cuidadosa consideración de suministros de entrada, separación de gas, colección de gas y desecho afluente. Los diseños de entrada y separación de gas son únicos para el reactor UASB. La alimentación de entrada de ser desecho para proveer distribución uniforme y evitar canalización o formación de zonas muertas. Evitando la canalización es más crítico para el desecho de aguas débiles, de tal manera que se debe usar menos producción de gas para ayudar a mezclar el manto de lodo. Un número de tuberías de alimento de entrada son usadas para dirigir el flujo para diferentes áreas de la parte baja del reactor UASB desde una fuente de alimentación común. Se debe proveer un acceso para limpiar las tuberías en caso de que se tape. Guías para determinar el área servida por una entrada individual de alimentación de tubería como función de características de lodo se proveen en la tabla 6. (Metcalf, Eddy, 2003: 1011)

**Tabla 6: Guía para determinar el área servida por una entrada individual de alimentación de tubería como función de características de lodo**

TIPO DE LODO	DESCARGA DE DQO kg/m <sup>3</sup> ·d	ÁREA (m <sup>2</sup> ) POR ALIMENTACIÓN
LODO FLOCULENTO DENSO >40 kg SS/m <sup>3</sup>	<1.0	0.5-1
	1-2	1-2
	>2	2-3
LODO FLOCULENTO MEDIO 20-40 kg SS/m <sup>3</sup>	<1-2	1-2
	>3	2-5
LODO GRANULAR	1-2	0.5-1
	2-4	0.5-2
	>4	>2

### **III. JUSTIFICACIÓN**

La industria cervecera en Guatemala utiliza grandes cantidades de levadura para su proceso. Después de varios ciclos de utilización, parte es desechada al medio ambiente, representando contaminación ambiental y pérdida de oportunidades para nuevos usos. La levadura descartada contiene propiedades todavía utilizables, entre las posibilidades de uso se encuentra la producción de biogás (metano), siendo una fuente alterna de combustible. De esta manera se contribuye a la disminución de la contaminación ambiental y a las pérdidas económicas para la industria cervecera, ya que las cantidades que se desechan son considerablemente grandes. Por lo tanto, el diseño de un reactor anaeróbico para la producción de metano contribuiría a la disminución de la contaminación ambiental y al aumento de las ganancias de la empresa.

## **IV. OBJETIVOS**

### **A. General**

Elaborar el diseño de un reactor anaeróbico de flujo ascendente de manto de lodos (UASB) para la producción de biogás a partir de levadura de desecho de una industria cervecera para el aprovechamiento de los desechos orgánicos.

### **B. Específicos**

1. Pretratamiento térmico y lisis enzimática de la levadura de desecho para determinar las condiciones de entrada al reactor.
2. Determinar la carga orgánica presente en la levadura de desecho a partir de DQO (Demanda Química de Oxígeno) y DBO ( Demanda Biológica de Oxígeno)
3. Dimensionamiento de un reactor de flujo ascendente de manto de lodos (UASB) para la producción de biogás a partir de levadura de desecho.
4. Determinar la cantidad de metano producido a partir de levadura de desecho de la industria cervecera para la reducción de desechos orgánicos.
5. Análisis económico: Inversión inicial, tasa Interna de Retorno (TIR) y tiempo de la recuperación de la inversión

## **V. PROBLEMA A RESOLVER**

Actualmente en una industria de producción de cerveza en Guatemala, al finalizar el proceso de fermentación para la producción de cerveza, la levadura ya ha pasado por varios ciclos de utilización, por lo tanto sus propiedades se pierden y deja de ser útil para el proceso. Una parte de la levadura se desecha al medio ambiente, causando contaminación del mismo, debido a que dicha levadura contiene materia orgánica que llega a ser un factor alto en la contaminación ambiental, así como también representa pérdida de dinero para la fábrica.

## VI. METODOLOGÍA

**A.** Pretratamiento térmico y lisis enzimática de la levadura de desecho para determinar las condiciones de entrada al reactor.

1. Búsqueda de información de pretratamiento térmico y lisis enzimática de materia orgánica para levadura de desecho.
2. Realizar el pretratamiento de la levadura de desecho

**B.** Determinar la carga orgánica presente en la levadura de desecho a partir de DQO (Demanda Química de Oxígeno y DBO (Demanda Biológica de Oxígeno)

1. Realizar pruebas de de DQO (Demanda Química de Oxígeno) a la levadura de desecho para obtener la carga orgánica presente.
2. Realizar pruebas de DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) a la levadura de desecho, para obtener la carga orgánica presente.
3. Determinar las condiciones y flujo de entrada al reactor

**C.** Dimensionamiento de un reactor de flujo ascendente de manto de lodos (UASB)

1. Búsqueda de información de un reactor de flujo ascendente de manto de lodos (UASB)
2. Dimensionamiento del reactor a utilizar

**D.** Determinar la cantidad de metano producido a partir de levadura de desecho de la industria cervecera para la reducción de desechos orgánicos.

**E.** Análisis económico

## VII. RESULTADOS

**Tabla 7: Pretratamiento térmico y lisis enzimática de la levadura de desecho**

Porcentaje de levaduras muertas	Porcentaje de pared rota de levadura
99.58 %	79.09 %

**Tabla 8: Demanda Química de oxígeno y Demanda Biológica de Oxígeno a partir de la levadura de desecho**

DQO	DBO
900 mg/L	885.00 mg/L

**Tabla 9: Dimensiones para el reactor anaeróbico UASB**

Dimensiones	
Volumen del líquido	144.00 m <sup>3</sup>
Área	23.00 m <sup>2</sup>
Diámetro	5.50 m
Altura	
Altura para el líquido	6.50 m
Altura para el colector de gas	2.50 m
Tiempo de residencia ( $\tau$ )	7.00 h

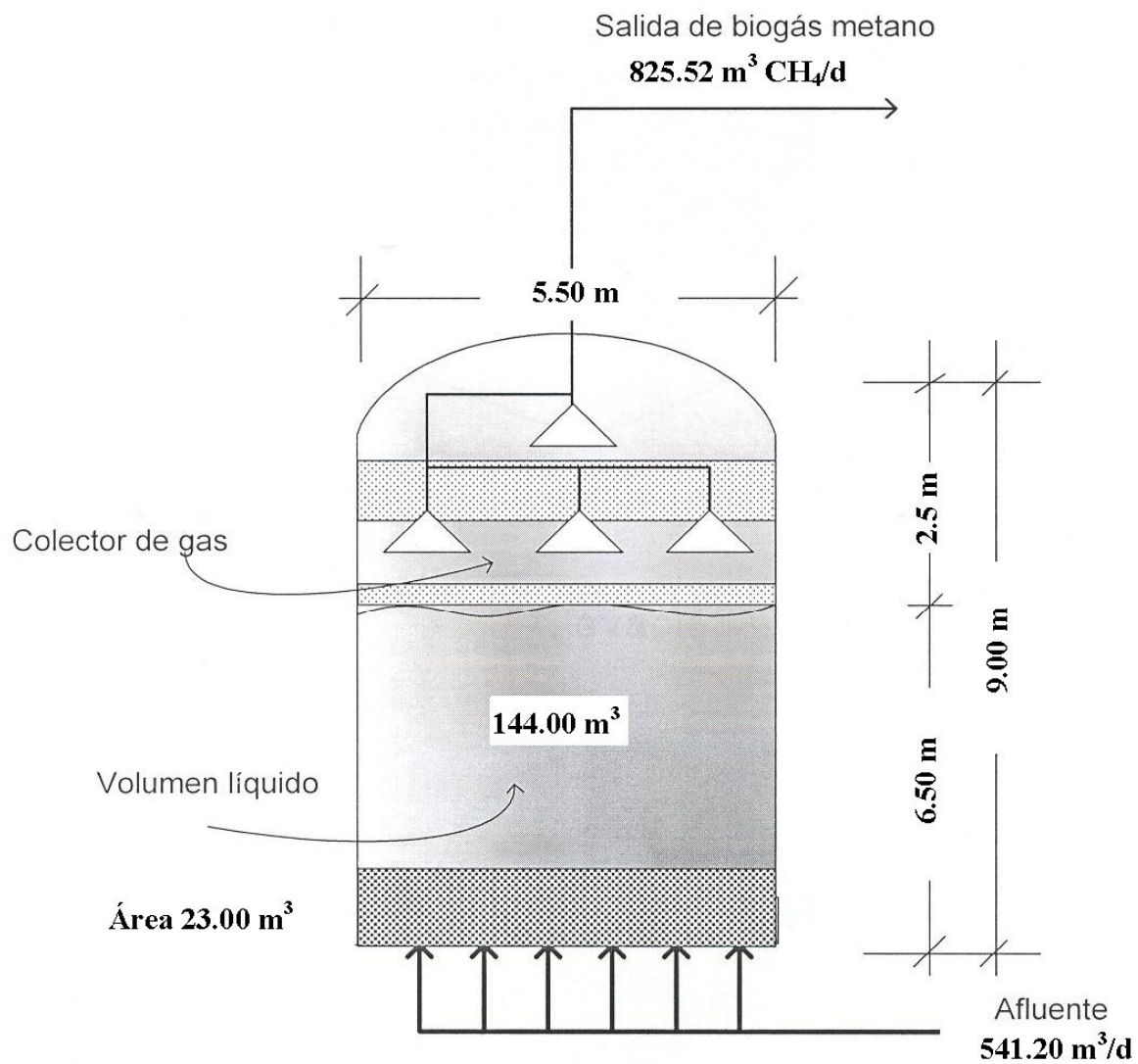
**Tabla 10: Cantidad de metano producida y energía producida por el metano**

Metano producido	Energía producida por el metano
825.52 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /d	2.71 x 10 <sup>7</sup> kJ/d

**Tabla 11: Inversión inicial, Tasa Interna de Retorno (TIR) y años de recuperación para el análisis económico a 10 años**

Análisis económico a	
Inversión inicial	Q 2,375,950.00
TIR	30 %
Tiempo de recuperación	3 años

## Plano de Construcción del reactor anaeróbico de flujo ascendente de manto de lodos (UASB)



## VIII. DISCUSIÓN

El objetivo principal de este trabajo consistió en el diseño de un reactor anaeróbico de flujo ascendente de manto de lodos (UASB) a partir de levadura de desecho para la producción de biogás (metano). La levadura se utiliza en el proceso de fermentación para la producción de cerveza y después de un tiempo dicha levadura pierde sus propiedades y se descarta, provocando contaminación ambiental y pérdidas de dinero para la empresa. La levadura que se descarta todavía cuenta con otros tipos de propiedades que puede utilizarse para otros recursos.

La levadura que se descarta se utilizó como materia orgánica para la producción de biogás a partir del reactor anaeróbico. Fue necesario realizar un pretratamiento térmico para lograr matar toda la levadura presente, esto se realizó ya que el reactor contiene un manto de lodos el cual en ellos se encuentran todas las bacterias para la producción de metano. La levadura en este caso contribuye como alimento por ser materia orgánica. Para esto fue necesario colocar dicha levadura a una temperatura de 60 °C por 35 minutos, luego por el método de fluorescencia se contó el porcentaje de levadura muerta a partir de un conteo de 200 levadura, dando como resultado 99.58 % para un promedio de seis muestras.

Para que la producción de metano se lleve a cabo con mayor facilidad fue necesario que la levadura muerta pasara por un proceso de lisis enzimática es decir, se le rompiera la pared celular, por lo que se realizaron choques térmicos llevando la levadura a temperatura altas y temperatura bajas varias veces. La temperatura baja que se utilizó fue de 10 °C y la temperatura alta fue de 60 °C por 40 minutos en cada temperatura. Para seis muestras el promedio del porcentaje de pared muerta fue de 79.09 %. Esto hace posible que la levadura sea más fácil de ser degradada por las bacterias presentes en el reactor volviendo así eficiente la producción del biogás.

Al obtener ya la levadura muerta y su pared celular rota se prosiguió a determinar la cantidad de materia orgánica que ésta presentada, se realizó el procedimiento por medio de dos métodos. Se utilizó la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda biológica de oxígeno (DBO)<sub>5</sub>. El resultado para la demanda química de oxígeno fue de 900 g/L. “La cual mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada dando un valor de concentración de materia orgánica presente” (APHA, AWWA, WPCF, 1992, 5-12). El DQO fue bastante grande ya que aproximadamente existe un gramo de materia orgánica por cada mL, lo que indica que la levadura no ha perdido sus propiedades como materia orgánica.

El resultado de la demanda biológica de oxígeno (DBO) fue similar a la demanda química de oxígeno el cual fue de 885 g/L. “La (DBO) es una prueba que mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia mediante procesos biológicos aerobios” (APHA, AWWA,

WPCF, 1992, 5-2). Siendo un valor confiable debido a que se confirma que lo que se tiene en la levadura desechada es totalmente orgánico.

La DBO es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes.

A partir de un flujo de  $22.55 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $541.20 \text{ m}^3/\text{d}$ ) y una razón de carga orgánica de  $4 \text{ DQO kg/m}^3\text{d}$  se determinó el volumen nominal para el reactor anaeróbico, el resultado fue de  $122.00 \text{ m}^3$ . El volumen nominal crece cuando el caudal y la carga orgánica son valores altos y decrece cuando la razón de carga orgánica es menor. El reactor trabaja a un 85 % de efectividad de remoción de carga orgánica. Debido a esto es necesario aumentar el volumen para que lo que entre como carga orgánica se convierta en biogas y de esta manera evitar mayores pérdidas. A partir del volumen nominal y la efectividad de 0.85 el volumen total para el reactor fue de  $144.00 \text{ m}^3$ . El reactor constó con un área de  $23.00 \text{ m}^2$ , el área dependió del caudal de diseño en este caso fue de  $541.20 \text{ m}^3/\text{d}$  y una velocidad de llenado de  $1.0 \text{ m/h}$ . Un diámetro de  $5.50 \text{ m}$  que dependió del área, una altura de  $6.50 \text{ m}$  para el volumen líquido que se determinó a partir de volumen del líquido ingresado al reactor y  $2.50 \text{ m}$  para el colector de gas, siendo una altura total de  $9.00 \text{ m}$ . El tiempo de residencia del reactor anaeróbico fue de  $7.0 \text{ h}$ . A mayor volumen del líquido mayor es el tiempo de residencia y a mayor caudal menor es el tiempo.

El afluente es distribuido por debajo del reactor (UASB) y viaja de una manera ascendente hacia el manto de lodos. Este reactor permite un alto contenido de carga orgánica debido a su manto de lodos granulado. Una de las ventajas más importantes del reactor es que no necesita equipos de aireación, por lo tanto no llega a utilizar mucha energía. También el espacio que utiliza no es grande, lo que no llega a ser un problema para la instalación. Una parte importante de este reactor es que no crea muchos sólidos, minimizando así los problemas de descarga de lodos. Las bacterias que se encuentran en el manto de lodos pueden sobrevivir a temperatura menores de  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , la temperatura de trabajo no llega a ser un problema. Entre otras ventajas que se pueden mencionar es puede llegar a trabajar con cantidad de nutrientes bajos y el uso de desecho orgánico en el reactor no produce olores desagradables.

Hay que tener en cuenta como parte importante para el uso de dicho reactor anaeróbico es el manto de lodos. Los desechos que contienen sustancias que puede afectar adversamente el flujo de granulación pueden causar espuma y formación de basura, por lo que se recomienda que lo que ingrese a reactor sea materia orgánica. “Otros factores que afectan los sólidos granulados es el pH, velocidad del flujo ascendente y nutrientes adicionales. El pH debe mantenerse cerca de 7.0 y una velocidad del flujo ascendente durante el arranque lo suficientemente alta”. (Metcalf, Eddy, 2003, p. 1007). No se debe de dejar mucho tiempo el reactor sin uso, esto es por que las bacterias que contiene el manto de lodos al no encontrar alimento, ellas empiezan a comerse entre ellas y al cabo del tiempo mutan y cuando se

ingresa un líquido no logran realizar el trabajo y por lo tanto es necesario cambiar el manto de lodos, el cual llevaría tiempo en su proceso de cambio y de adaptación para las bacterias.

La cantidad de gas metano producido en el proceso fue de 825.52 m<sup>3</sup>/d que produce una energía de  $2.71 \times 10^7$  kJ/d. El gas metano que se produce es a partir de 2160 kg DQO/d resultado de la levadura que se desecha. De esta manera se puede observar que la energía que produce el biogas puede aprovecharse para otros procesos internos de la industria. En este caso la energía fue utilizada para sustituir el combustible de una caldera. En este caso se elimina el factor importante que es la contaminación ambiental y se evitan multas y daños al ambiente así como también existe un ahorro significativo para la industria, aumentando sus utilidades.

La energía que produjo el metano, se utilizó como ahorro para la industria. Se utilizó como sustituto de una caldera que trabaja a partir de diesel. A partir del ahorro se realizó el análisis económico (ver Apéndice Tabla 18-19) proyectado a 10 años. El ahorro fue de Q 1, 179,429.48 /año el cual se incrementa un 6 % anual debido a la inflación. La VAN obtenida fue de Q 4, 614,845.00. Un VAN mayor que cero, se gana en el proyecto igual a cero no se gana ni se pierde y menor que cero se pierde y se realizó por medio de pasar los flujos de caja obtenidos de cada año al año presente. Lo que indica que el proyecto es factible debido a que es mayor que cero y como la inversión fue de Q 2, 375,950.00 indica que gana casi el doble de lo que invierte. A partir de los flujos presentes (ver apéndice tabla 20) se obtuvo la TIR (tasa interna de retorno) de 32 %. La TIR es baja y llega a justificarse ya que este es un proyecto más ambiental y no se puede cuantificar lo ambiental en un precio, también se están evitando multas o paros de la industria. La recuperación de la inversión inicial es de 3 años. El proyecto se puede llevar a cabo, siempre tomando en cuenta si aumenta anualmente los desechos y por consiguiente aumenta la cantidad de biogas producido y su energía, aumentando el ahorro anual.

## IX. CONCLUSIONES

1. El pretratamiento térmico de la levadura de desecho se realizó a 60 °C por 40 minutos, el promedio de levadura muerta para seis muestras fue de 99.58 % para un conteo de 200 levaduras.
2. Para el tratamiento de lisis enzimática de la levadura de desecho se realizó a cambios de temperatura de 60 °C y 10 °C y el promedio de pared rota para la levadura muerta en seis muestra fue de 79.09 % para un conteo de 200 levaduras
3. La carga orgánica presente a partir de la Demanda Química de Oxígeno fue de 900 g/L.
4. La carga orgánica presente a partir de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)<sub>5</sub> fue de 885.00 g/L.
5. La dimensión de reactor anaeróbico (UASB) para un caudal de diseño de 541.20 m<sup>3</sup>/d y una carga orgánica de 2,541 kg/d dio como resultado 144.00 m<sup>3</sup> que puede conectarse en un cilindro de 23.00 m<sup>2</sup> de base 5.50 m de diámetro por 9.00 m de altura destinado 2.5 m para el colector de gas.
6. La cantidad de metano producido en el proceso biológico (reactor UASB) fue de 825.52 m<sup>3</sup> DQO/d que produce una energía de 2.71 x 10<sup>7</sup> kJ/d
7. El manto de lodos debe ser granular porque a mayor superficie de contacto la eficiencia es mejor y la degradación de la materia orgánica es mayor.
8. La inversión inicial del proyecto ya incluyendo instalación y puesta en marcha fue de Q 2, 375,950.00 millones con una TIR de 30 %, un VAN Q4,614,845.00 y una recuperación de lo invertido en 3 años para un estudio de 10 años.

## **X. RECOMENDACIONES**

- Siempre realizar el pretratamiento térmico y lisis enzimática a temperaturas bastante bajas y temperaturas altas antes de ingresar el afluente al reactor , para confirmar que la levadura entra muerta así como también que las paredes celulares rompan.
- Realizar estudios de otros usos que se pueden aplicar a la energía que el metano produce para así tener otras vías de utilización.
- Capacitación del personal encargado del reactor anaeróbico (UASB) para revisar siempre sus condiciones y el buen funcionamiento.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- APHA, AWWA, WPCF. 1992. *Métodos normalizados: para el análisis de aguas potables y residuales*. 17° edición. S.A. España. Editorial Díaz de Santos, 10-221 págs.
- Donald L. Wise. 1981. *Fuel gas production from biomass*. Estados Unidos de América. CRC Press, Inc. 2 volúmenes.
- Donald, Droste. 1996. *Theory and practice of water and wastewater treatment*. New York. Jonh Wiley & Sons. 273 págs.
- Fogler, Harold. 1999. *Elements of chemical reactions engineering*. 3ª edición. Estados Unidos de América, Prentice Hall, Inc. 968 págs.
- Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater engineering treatment and reuse*. 4ª edición. New York. McGraw Hill. 1819 págs.
- Noriega Gordillo, Juan Gabriel. 2000. *Aprovechamiento de los desechos de la fermentación (Biomasa de Levadura) Subproducto en la industria cervecera*. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala, Guatemal. a 79págs.
- Perry, Robert y D. Green. 2001. *Manual del ingeniero químico*. 7ª edición. España. McGraw-Hill. 4 volúmenes.
- J.H. Farina, O.A. Ferretti, et al, 1986. *Introducción al diseño de reactores químicos*. [en línea] [www.ilustrados.com/publicaciones](http://www.ilustrados.com/publicaciones) [consulta 3 de septiembre del 2006]
- Mitzlaff, Klaus, 1988. *Engines for biogas*. [en línea] Lengericher Handelsdruckerei, Lengerich, Alemania . [www.biologia.edu.ar/microind](http://www.biologia.edu.ar/microind) [consulta 24 de agosto del 2006]
- Muche H, Zimmermann H 1985 *La purificación del biogas*. [en línea] Lengericher Handelsdruckerei, Lengerich, Alemania . [www.biologia.edu.ar/microind](http://www.biologia.edu.ar/microind) [consulta 24 de agosto del 2006]
- Werner, U, U Stohr . 1989. *Biogas plants in animal husbandry*. [en línea] Vieweg & Sonh. P.53-61. [www.textoscientificos.com/energia/biogas/](http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/) [consulta 1 de octubre del 2006]

## XII. APÉNDICE

A continuación se detallan los datos originales y cálculos realizados para los distintos objetivos específicos.

### A. Datos originales

**Tabla 12: Datos obtenidos para el pretratamiento térmico y lisis enzimática de la levadura de desecho para un conteo de 200 levaduras y temperaturas de 60°C y 10°C**

<b>Muestra No.</b>	<b>levaduras muertas en conteo de 200</b>	<b>Pared rota</b>
<b>1</b>	200	152
<b>2</b>	199	149
<b>3</b>	200	156
<b>4</b>	198	165
<b>5</b>	200	168
<b>6</b>	198	159

**Tabla 13: Datos obtenidos para demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno**

<b>Muestra No.</b>	<b>DQO (g/L)</b>	<b>DBO (mcg/L)</b>
<b>1</b>	895	880
<b>2</b>	900	890
<b>3</b>	905	890
<b>4</b>	900	885
<b>5</b>	895	885
<b>6</b>	905	880

**Tabla 14: Caudales de descarga de la levadura de desechada.**

<b>Muestra No.</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>
<b>1</b>	20.53
<b>2</b>	25.45
<b>3</b>	22.64
<b>4</b>	21.45
<b>5</b>	24.98
<b>6</b>	20.23

## B. Datos calculados

### 1. Porcentaje de levadura muerta.

$$\text{Promedio} = [(Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3 + Muestra 4 + Muestra 5 + Muestra 6)] / 6$$

(Ecuación 1)

$$\text{Promedio} = [(200 + 199 + 200 + 198 + 200 + 198)] / 6$$

$$\text{Promedio} = 199.17$$

$$\% \text{ de levadura muerta} = [(\text{Promedio} / 200) \times 100]$$

(Ecuación 2)

$$\% \text{ de levadura muerta} = [(199.17 / 200) \times 100]$$

$$\text{Levadura muerta} = 99.58 \%$$

### 2. Porcentaje de pared rota

$$\text{Promedio} = [(Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3 + Muestra 4 + Muestra 5 + Muestra 6)] / 6$$

$$\text{Promedio} = [(152 + 149 + 156 + 165 + 168 + 159)] / 6$$

$$\text{Promedio} = 158.17$$

$$\% \text{ de levadura muerta} = [(\text{Promedio} / 200) \times 100]$$

$$\% \text{ de levadura muerta} = [(178.17 / 200) \times 100]$$

$$\text{Pared rota} = 79.09 \%$$

### 3. Promedio para la demanda química de oxígeno obtenida a partir de la levadura de desecho

$$\text{Promedio} = [(\text{Muestra 1} + \text{Muestra 2} + \text{Muestra 3} + \text{Muestra 4} + \text{Muestra 5} + \text{Muestra 6})] / 6$$

$$\text{Promedio} = [(895 + 900 + 905 + 900 + 895 + 905)] / 6$$

$$\text{Promedio} = 900 \text{ g/L}$$

### 4. Promedio para la demanda química de biológica obtenida a partir de la levadura de desecho

$$\text{Promedio} = [(\text{Muestra 1} + \text{Muestra 2} + \text{Muestra 3} + \text{Muestra 4} + \text{Muestra 5} + \text{Muestra 6})] / 6$$

$$\text{Promedio} = [(880 + 890 + 890 + 885 + 885 + 880)] / 6$$

$$\text{Promedio} = 885 \text{ g/L}$$

### 5. Promedio para los caudales de descarga para la levadura desechada

$$\text{Promedio} = [(\text{Muestra 1} + \text{Muestra 2} + \text{Muestra 3} + \text{Muestra 4} + \text{Muestra 5} + \text{Muestra 6})] / 6$$

$$\text{Promedio} = [(20.53 + 25.45 + 22.64 + 21.45 + 24.98 + 20.23)] / 6$$

$$\text{Promedio} = 22.55 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### a. Caudal de descarga por día

$$\text{Caudal por día} = (22.55 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h/d})$$

$$\text{Caudal por día} = 541.20 \text{ m}^3/\text{d}$$

## 6. Dimensionamiento del reactor anaeróbico UASB

### a. Volumen Nominal $V_n$

$$V_n = (Q_{(\text{diseño})} * S_o) / L_{\text{org}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

$V_n$  = volumen nominal efectivo

$Q_{(\text{diseño})}$  = caudal de diseño a tratar en el reactor

$S_o$  = flujo de DQO/  $\text{m}^3$

$L_{\text{org}}$  = razón de carga orgánica ( $4 \text{ kg/m}^3\text{d}$ ) obtenida a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  sin contenido de ácidos grasos volátiles de la Tabla 15.

$$V_n = (541.20 \text{ m}^3/\text{d} \times 0.9 \text{ kg/m}^3) / 4 \text{ kg/m}^3\text{d}$$

$$V_n = 121.77 \text{ m}^3$$

### b. Volumen líquido $V_L$

$$V_L = V_n/E \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

$V_L$  = volumen líquido total necesario del reactor debajo del colector de gas ( $\text{m}^3$ )

$V_n$  = volumen nominal efectivo ( $121.77 \text{ m}^3$ )

$E$  = factor de efectividad (0.85)

$$V_L = 121.77 \text{ m}^3 / 0.85$$

$$V_L = 143.26 \text{ m}^3$$

$$V_L = 144.00 \text{ m}^3$$

### c. Área seccional del reactor anaeróbico (UASB)

$$A = Q/v \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

A = área seccional del reactor ( $\text{m}^2$ )

Q = caudal del diseño a tratar en el reactor ( $541.20\text{m}^3/\text{d}$ )

v = velocidad de llenado ( $1\text{m}/\text{h}$ ) obtenido de la Tabla 5 para DQO parcialmente soluble.

$$A = (541.20\text{m}^3/\text{d}) / (1\text{m}/\text{h} * 24\text{h}/\text{d})$$

$$A = 22.55 \text{ m}^2$$

$$A = 23.00 \text{ m}^2$$

### d. Diámetro del reactor anaeróbico

$$D = \sqrt{(4*A/\pi)} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

D = diámetro del reactor (m)

A = área de seccional del reactor ( $22.55 \text{ m}^2$ )

$\pi$  = constante (3.1416)

$$D = \sqrt{(4*22.55\text{m}^2/\pi)}$$

$$D = 5.36 \text{ m}$$

$$D = 5.50 \text{ m}$$

### e. Altura del reactor anaeróbico (UASB)

$$H_L = V_L / A \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

$H_L$  = altura del reactor basado en el volumen líquido (m)

$V_L$  = volumen líquido total del reactor (143.26 m<sup>3</sup>)

$A$  = área seccional del reactor (22.55 m<sup>2</sup>)

$$H_L = 143.26 \text{ m}^3 / 22.55 \text{ m}^2$$

$$H_L = 6.35 \text{ m}$$

$$H_L = 6.50 \text{ m}$$

#### 1) Altura total del reactor anaeróbico (UASB)

$$H_{\text{total}} = H_L + H_G \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

$H_{\text{total}}$  = altura total del reactor anaeróbico (UASB)

$H_L$  = altura del reactor basado en el volumen líquido (m)

$H_G$  = altura del colector de gas en el reactor (2.5m) altura recomendada por la literatura

$$H_{\text{total}} = 6.35 \text{ m} + 2.5 \text{ m}$$

$$H_{\text{total}} = 8.85 \text{ m}$$

$$H_{\text{total}} = 9.00 \text{ m}$$

## 7. Cantidad de Metano producido

### a. Volumen de gas

$$V = nRT/P \quad \text{(Ecuación 9)}$$

Donde:

V = volumen de gas metano producido (L)

n = número de moles (1 mol)

R = constante de los gases ideales (0.082057 atm\*L / mol\* K)

T = temperatura 25 °C

P = presión del gas (1.0 atm.)

$$V = (1 \text{ mol}) (0.082057 \text{ atm*L} / \text{mol* K}) 298.15 \text{ K} / (1.0 \text{ atm})$$

$$V = 24.46 \text{ L}$$

### b. Cantidad de metano

Sabiendo que en 64.0 g de DQO hay 1.0 moles de metano (CH<sub>4</sub>) y conociendo que en la planta se generan 2160 kg DQO /d, se realiza el siguiente cálculo

$$\begin{aligned} & \frac{24.46 \text{ L CH}_4}{1 \text{ mol CH}_4} * \frac{1 \text{ mol de CH}_4}{64 \text{ g DQO}} * \frac{1000 \text{ g DQO}}{1.0 \text{ kg DQO}} * \frac{2160 \text{ kg DQO}}{1.0 \text{ d}} * \frac{1.0 \text{ m}^3 \text{ CH}_4}{1000 \text{ L de CH}_4} \\ & = 825.52 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{d} \end{aligned}$$

Volumen total real producido de gas:

Utilizando un 65% de contenido de gas metano a 25 °C, obtenido de la Tabla 16 se tiene:

$$V_T = 825.52 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{d} / 0.65$$

$$V_T = 1270.04 \text{ m}^3 / \text{d}$$

### c. Energía producida por el metano producido

Para la determinación de la energía producida, se determina la densidad del gas metano 25 °C además, se utiliza el factor de 50.01 kJ/ g de metano, obtenido de la Tabla 16

$$\rho = 0.6346 \text{ kg/m}^3$$

La densidad a 25 °C de temperatura.

$$P = \{[(273.15 + 35) / (273.15 + 25)] * (0.656 \text{ kg/ m}^3)\} \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$\rho = 0.6560 \text{ g/ L}$$

$$\frac{825.52 \text{ m}^3 \text{CH}_4}{\text{d}} * \frac{1000 \text{ L CH}_4}{1.0 \text{ m}^3 \text{CH}_4} * \frac{0.6560 \text{ g CH}_4}{1.0 \text{ L CH}_4} * \frac{50.01 \text{ kJ}}{1.0 \text{ g de CH}_4}$$

$$\text{Energía} = 2.71 \times 10^7 \text{ kJ/ d}$$

## 8. Tiempo de residencia ( $\tau$ )

$$\tau = V_L / Q \text{ (diseño)} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

$\tau$  = tiempo de residencia (h)

$V_L$  = volumen líquido total del reactor (143.26 m<sup>3</sup>)

(521.20 m<sup>3</sup>/d)

$$\tau = [(143.26 \text{ m}^3) / (521.20 \text{ m}^3/\text{d})]$$

$$\tau = 6.60 \text{ h}$$

$$\tau = 7.00 \text{ h}$$

**Tabla 15: Carga volumétrica orgánica ( $L_{org}$ ) recomendada en función de la temperatura para un 85 % - 95 % de remoción de DQO**

Temperatura °C	Carga volumétrica, Kg sólidos DQO/ m <sup>3</sup> d			
	Agua residuales con contenido de ácidos grasos volátiles		Agua residuales sin contenido de ácidos grasos volátiles	
	Rango	Típico	Rango	Típico
15	2 – 4	3	2 – 3	2
20	4 – 6	5	2 – 4	3
25	6 – 12	6	4 – 8	4
30	10 – 18	12	8 – 12	10
35	15 -24	18	12 – 18	14
40	20 -32	25	15 -24	18

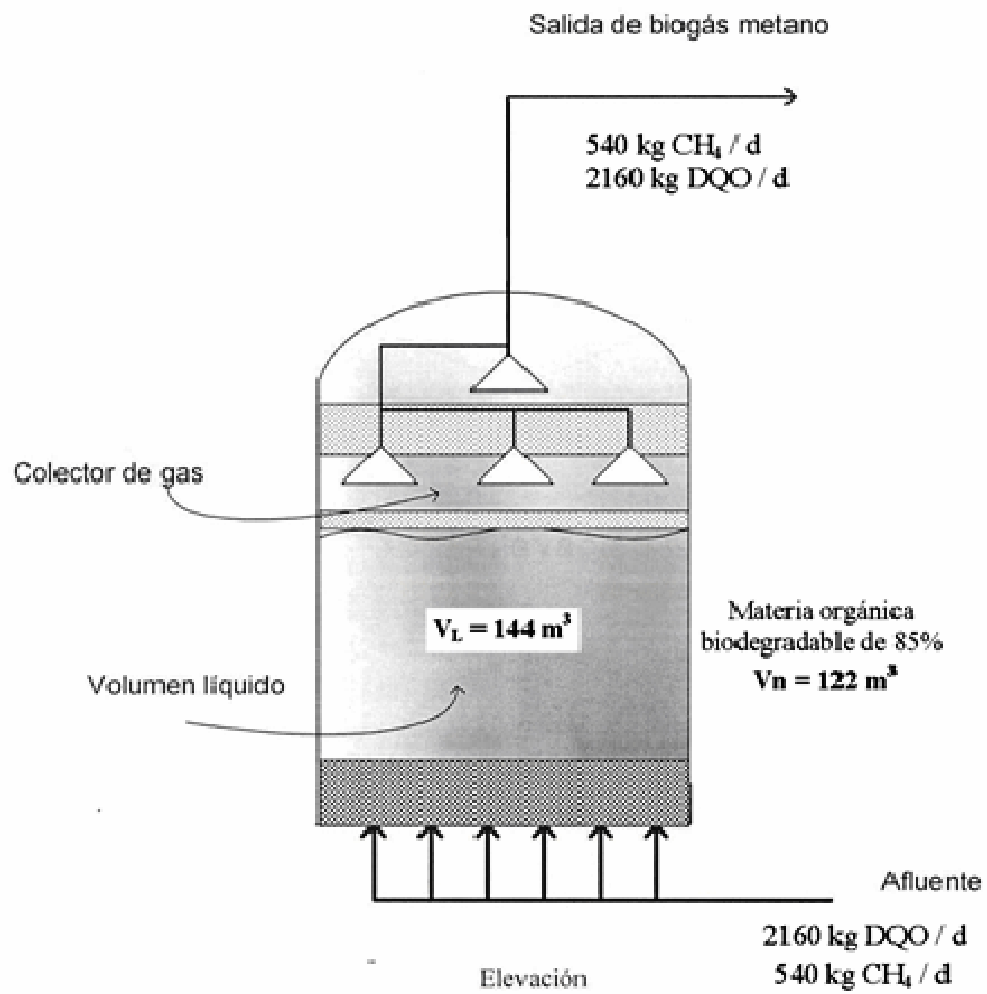
(Metcalf , Eddy, 2003, p. 1009)

**Tabla 16: Valores típicos importantes sobre propiedades físicas y químicas del gas metano producido en un reactor (UASB)**

Gas Metano			
Parámetro	Unidades	Rango de valores	Valor típico
Producción a 35 °C	m <sup>3</sup> /kg DQO	0.4	0.4
Densidad a 35 °C	Kg/m <sup>3</sup>	0.6346	0.6346
Contenido de gas	%	60 – 70	65
Contenido de energía	kJ/g	50.1	50.1

(Metcalf , Eddy, 2003, p. 1009)

## D. Balance de masa



## E. Análisis económico

El análisis económico se realizó para diez años, los cálculos se realizaron por medio del programa Excel. Los ingresos para fines del flujo de caja se realizaron por medio de ahorro, ya que se utilizó la energía producida por el metano como sustituto de una caldera de diesel.

Calor de combustión del diesel =  $1.46 \times 10^7$  kJ/galón

Precio del galón del diesel = Q 18.00

Energía producida por el metano =  $2.71 \times 10^7$  kJ/d

De los 365 días del año parando cada tres meses 3 días para mantenimiento u otros. Los días totales de trabajo 353 días

### 1. Ahorro anual a partir de la energía producida

Galones al día =  $(2.71 \times 10^7 \text{ kJ/d}) / 1.46 \times 10^5 \text{ kJ/gal diesel} = 185.62 \text{ gal diesel/d}$

Precio total =  $185.62 \text{ gal/d} \times \text{Q } 18.00 / \text{gal diesel} = \text{Q } 3,341.16/\text{d}$

Ahorro anual =  $\text{Q } 3,341.16/\text{d} \times 353 \text{ d} / \text{años} = \text{Q } 1,179,429.48 / \text{año}$

**Ahorro = Q1,179,429.48 /año**

Se subió 6 % del ahorro anual en combustible diesel para los 10 años debido a la inflación.

## 2. Inversión

El precio del reactor anaeróbico de flujo ascendente de mantos de lodos (UASB) se cotizó a:

Precio = Q 1, 900,760.00

Se tomó un 25 % del precio del reactor para la parte de instalación, auxiliares, equipo y puesta en marcha.

25 % del precio del reactor =  $Q 1, 900,760.00 \times 0.25 = Q 475,190.00$

Inversión total =  $Q 1, 900,760.00 + Q 475,190.00 = Q 2, 375,950.00$

**Inversión total = Q 2, 375,950.00**

## 3. Depreciación

La depreciación se realizó por medio el sistema modificado acelerado de recuperación de costos (SMARC) Utilizando la tabla siguiente para diez años:

Tabla 17 Tasa de depreciación, aplicada al costo inicial mediante el método (SMARC)

Años	Tasa de depreciación (%)
1	10.00
2	18.00
3	14.40
4	11.52
5	9.22
6	7.37
7	6.55
8	6.55
9	6.55
10	9.83

#### 4. Flujo de caja

Tabla 18: Descripción del flujo de caja para los primeros cinco años proyectados

	Año 0 (Q)	Año 1 (Q)	Año 2 ( Q)	Año 3 (Q)	Año 4 (Q)	Año 5 (Q)
Inversión						
Ahorro		1,179,429.48	1,250,195.25	1,325,206.96	1,404,719.38	1,489,002.54
Depreciación		190,076.00	342,136.80	273,709.44	218,967.55	175,250.07
Utilidades antes de impuestos		989,353.48	908,058.45	1,051,497.52	1,185,751.83	1,313,752.47
Impuestos 5 %		49,467.67	45,402.92	52,574.88	59,287.59	65,687.62
Utilidad neta		939,885.81	862,655.53	998,922.65	1,126,464.24	1,248,064.85
Depreciación		190,076.00	342,136.80	273,709.44	218,967.55	175,250.07
Inversión	2,375,950.00					
Flujo de caja	-2,375,950.00	1,129,961.81	1,204,792.33	1,272,632.09	1,345,431.79	1,423,314.92

Tabla 19: Descripción del flujo de caja para los siguientes cinco años

	Año 6 (Q)	Año 7 (Q)	Año 8 (Q)	Año 9 (Q)	Año 10 (Q)
Inversión					
Ahorro	1,578,342.70	1,673,043.26	1,773,425.85	1,879,831.41	1,992,621.29
Depreciación	140,086.01	124,499.78	124,499.78	124,499.78	187,034.79
Utilidades antes de impuestos	1,438,256.69	1,548,543.48	1,648,926.07	1,755,331.63	1,805,586.50
Impuestos 5 %	71,912.83	77,427.17	82,446.30	87,766.58	90,279.33
Utilidad neta	1,366,343.85	1,471,116.30	1,566,479.77	1,667,565.04	1,715,307.18
Depreciación	140,086.01	124,499.78	124,499.78	124,499.78	187,034.79
Inversión					
Flujo de caja	1,506,429.86	1,595,616.08	1,690,979.55	1,792,064.82	1,902,341.96

Tabla 20 Flujos presentes para la obtención del VAN para 10 años con una tasa de interés de 15 %

<b>Años</b>	<b>Flujo presente (Q)</b>
0	-2,375,950.00
1	982,575.48
2	910,996.09
3	836,776.26
4	769,254.99
5	707,639.07
6	651,271.20
7	599,851.19
8	552,784.21
9	509,416.67
10	470,229.84

Tabla 21 VAN, Tasa Interna de Retorno (TIR) y años de recuperación

<b>VAN</b>	Q 4,614,845.00
<b>TIR</b>	32 %
<b>Años de recuperación</b>	3 años

## XIII. GLOSARIO

**Afluente:** Agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento.

**Aguas crudas:** Aguas residuales que no han sido tratadas.

**Aguas residuales:** Agua que contiene material disuelto y en suspensión luego de ser usada por una comunidad o industria.

**Ambiente anaeróbico:** Proceso desarrollado en ausencia de oxígeno molecular

**Biodegradación:** Degradación de la materia orgánica por acción de microorganismos sobre el suelo, aire, cuerpos de agua receptores o procesos de tratamiento de aguas residuales.

**Carga orgánica:** Producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (kg/d)

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20°C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Medida de la cantidad de oxígeno usados para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales orgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

**Efluente:** Líquido que sale de un proceso de tratamiento

**Reactor anaeróbico de flujo ascendente de manto de lodos (UASB):** Proceso continuo de tratamiento anaeróbico de aguas residuales u otros líquidos, en el cual el desecho circula de abajo hacia arriba a través de un manto de lodos o filtro para estabilizar parcialmente la materia orgánica. El desecho se retira del proceso en la parte superior, normalmente se obtiene gas como subproducto del proceso.