



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
EXTENSIÓN LATACUNGA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES Y PRODUCCIÓN DE BIOGÁS  
PARA SU APROVECHAMIENTO EN EL NUEVO CAMPUS  
DE LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA.”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
EN ELECTROMECAÁNICA.**

**JUAN CARLOS ALMEIDA OÑATE**

**Latacunga, Enero 2013**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**CERTIFICADO**

ING. MARIO JIMÉNEZ (DIRECTOR)

ING. PABLO MENA (CODIRECTOR)

**CERTIFICAN:**

Que el trabajo titulado "DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA SU APROVECHAMIENTO EN EL NUEVO CAMPUS DE LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA" realizado por el señor: ALMEIDA OÑATE JUAN CARLOS ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, **SI** recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de UN empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat. Autorizan al señor: ALMEIDA OÑATE JUAN CARLOS que lo entregue al ING. WILSON SÁNCHEZ, en su calidad de Director de Carrera.

Latacunga, 28 de Enero del 2013.

-----  
Ing. Mario Jiménez

**DIRECTOR**

-----  
Ing. Pablo Mena

**CODIRECTOR**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Almeida Oñate Juan Carlos,

**DECLARO QUE:**

El proyecto de grado denominado "DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA SU APROVECHAMIENTO EN EL NUEVO CAMPUS DE LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA" ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, 28 de Enero del 2013.

ALMEIDA OÑATE JUAN CARLOS

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, ALMEIDA OÑATE JUAN CARLOS.

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo "DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA SU APROVECHAMIENTO EN EL NUEVO CAMPUS DE LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA" cuyo contenido, ideas y criterios son de MI exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, 28 de Enero del 2013.

ALMEIDA OÑATE JUAN CARLOS.

## **DEDICATORIA**

A toda mi familia y en especial a mi madre quien me ha apoyado siempre.

## **AGRADECIMIENTO**

A todas las personas que me han ayudado durante todo este tiempo y en especial a mi madre quien ha estado en todo momento apoyándome para lograr alcanzar este objetivo.

## ÍNDICE GENERAL

Portada .....	- i -
Certificación .....	- ii -
Declaración responsabilidad .....	- iii -
Autorización de publicación .....	- iv -
Dedicatoria.....	- v -
Agradecimiento .....	- vi -
Índice de contenidos .....	- vii -
Índice de figuras.....	- xiii -
Índice de tablas.....	- xiv -
Anexos .....	- xvi -
Resumen.....	- xviii -
Abstract.....	- xix -

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CAPÍTULO I

#### FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	- 1 -
1.1.1 ASPECTOS GENERALES DE UN AGUA RESIDUAL.....	- 1 -
a. Características.....	- 2 -
1.1.2 AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS. ....	- 3 -
a. Características.....	- 4 -
1.1.3 IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES. ....	- 6 -
1.1.4 SISTEMAS ALTERNATIVOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	- 7 -

a.	Pretratamiento .....	- 8 -
b.	Tratamiento primario.....	- 8 -
c.	Tratamiento secundario .....	- 8 -
d.	Tratamiento terciario o avanzado .....	- 8 -
1.1.5	TRATAMIENTO BIOLÓGICO. ....	- 9 -
a.	Procesos aerobios. ....	- 9 -
b.	Procesos anaerobios. ....	- 10 -
c.	Procesos facultativos. ....	- 10 -
d.	Procesos combinados.....	- 10 -
1.1.6	COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS MÁS UTILIZADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	- 10 -
1.2	BIOMASA Y PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.....	- 14 -
1.2.1	TIPOS DE BIOMASA. ....	- 15 -
a.	Biomasa natural.....	- 15 -
b.	Biomasa producida en plantaciones energéticas.....	- 16 -
c.	Residuos agropecuarios. ....	- 17 -
d.	Desechos urbanos.....	- 17 -
1.2.2	SELECCIÓN DE LA BIOMASA.....	- 18 -
1.2.3	CARACTERÍSTICAS DE LA BIOMASA. ....	- 18 -
a.	Masa seca. ....	- 18 -
b.	Masa volátil.....	- 19 -
c.	Carga orgánica volumétrica. ....	- 19 -
1.3	BIOGÁS.....	- 19 -
1.3.1	BIOGÁS COMPARADO CON OTROS GASES BASADOS EN METANO.....	- 20 -
1.3.2	COMPONENTES PRESENTES EN EL BIOGÁS Y SUS EFECTOS. ....	- 21 -
1.3.3	EFECTOS DEL CO <sub>2</sub> EN EL BIOGÁS.....	- 22 -
1.3.4	N <sub>2</sub> Y O <sub>2</sub> PRESENTE EN EL BIOGÁS.....	- 23 -
1.3.5	AMONIACO PRESENTE EN EL BIOGÁS. ....	- 23 -
1.3.6	ÁCIDO SULFHÍDRICO PRESENTE EN EL BIOGÁS. ....	- 24 -

1.3.7	SILOXENOS PRESENTES EN EL BIOGÁS.....	- 24 -
1.4	TRATAMIENTO ANAEROBIO.....	- 25 -
1.4.1	TECNOLOGÍA BIOLÓGICA ANAEROBIA .....	- 25 -
a.	Reactores de primera generación.....	- 26 -
a.1	Fosa séptica. ....	- 26 -
a.2	Tanque Imhoff. ....	- 27 -
a.3	Lagunas anaerobias. ....	- 27 -
a.4	Digestor anaerobio convencional. ....	- 28 -
a.5	Digestor anaerobio completamente mezclado.....	- 28 -
a.6	Digestor de contacto.....	- 29 -
b.	Reactores de segunda generación. ....	- 29 -
b.1	Reactor anaerobio con lecho de lodos UASB. ....	- 30 -
b.2	Reactores EGSB. ....	- 31 -
b.3	Reactores de lecho fijo.....	- 32 -
b.4	Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).....	- 32 -
b.5	Reactor tubular de película fija. ....	- 33 -
b.6	Reactores híbridos. ....	- 33 -
c.	Reactores de tercera generación.....	- 34 -
c.1	Lecho expandido. ....	- 35 -
c.2	Lecho fluidizado. ....	- 35 -
1.4.2	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	- 35 -
1.4.3	PROCESO BIOQUÍMICO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA -	37 -
a.	Hidrólisis y acidogénesis.....	- 38 -
b.	Acetogénesis. ....	- 40 -
c.	Metanogénesis.....	- 42 -
1.4.4	FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	- 45 -
a.	Temperatura. ....	- 45 -
b.	pH. ....	- 47 -
c.	Nutrientes. ....	- 47 -

d. Ácidos grasos volátiles. ....	- 48 -
e. Alcalinidad. ....	- 49 -
f. Toxicidad. ....	- 49 -
g. Homogenización. ....	- 50 -
h. Tiempo de retención hidráulico. ....	- 50 -

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO DE LA PLANTA DEPURADORA UASB**

2.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN. ....	- 51 -
2.2 ESQUEMA DE DEPURACIÓN QUE SE APLICA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS. ....	- 52 -
2.3 PARÁMETROS DE DISEÑO. ....	- 53 -
2.3.1 GENERALIDADES. ....	- 53 -
2.3.2 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO. ....	- 53 -
2.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO. ....	- 54 -
2.4.1 OBTENCIÓN DE DATOS. ....	- 54 -
2.4.2 CRIBADO/DESARENADOR. ....	- 54 -
2.4.3 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO. ....	- 56 -
2.4.4 GEOMETRÍA Y VOLUMEN DEL REACTOR. ....	- 57 -
2.4.5 ALTURA DEL REACTOR. ....	- 57 -
2.4.6 CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA. ....	- 58 -
2.4.7 CÁLCULO ESTIMADO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS. ....	- 59 -
2.4.8 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AFLUENTE. ....	- 59 -
2.4.9 RECOLECCIÓN DEL EFLUENTE Y DESCARGA. ....	- 61 -
2.4.10 DRENAJE DE LODO. ....	- 61 -

2.4.11 SEPARADOR GAS-LÍQUIDO-SÓLIDO.....	- 61 -
2.4.12 CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS.....	- 64 -
2.4.13 CRITERIO PARA EL DISEÑO DE BIOFILTROS PERCOLADORES.....	- 64 -
2.4.14 VELOCIDADES DE PASO POR ABERTURAS A ZONA DE CLARIFICACIÓN.....	- 65 -
2.4.15 CRITERIO DE DISEÑO PARA TANQUES DE CLARIFICACIÓN.....	- 67 -
2.4.16 CRITERIO PARA DIMENSIONAMIENTO DE LECHO DE SECADO DE LODOS.....	- 68 -
2.4.17 DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA LA PLANTA DEPURADORA UASB.....	- 70 -
2.4.18 DISEÑO ELECTROMECÁNICO Y DE CONTROL.....	- 72 -
2.5 ARRANQUE DEL REACTOR.....	- 73 -
2.5.1 INOCULACIÓN.....	- 73 -
2.5.2 EVALUACIÓN DEL SISTEMA.....	- 74 -

### **CAPÍTULO III**

#### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE BIODIGESTOR.**

3.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO.....	- 75 -
3.1.1 MANEJO DE LOS FACTORES EN EL PROTOTIPO.....	- 75 -
3.1.2 CRITERIOS Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO.....	- 76 -
3.2 DISEÑO CONCEPTUAL.....	- 77 -
3.2.1 DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES DEL PROTOTIPO.....	- 77 -
3.2.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN.....	- 79 -

3.2.3	DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA....	- 79 -
3.3	DISEÑO MECÁNICO. ....	- 80 -
3.3.1	DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE DIGESTIÓN. ....	- 80 -
3.3.2	SELLO HIDRÁULICO DE GEOMEMBRANA. ....	- 80 -
3.3.3	ZONA DE CARGA. ....	- 81 -
	a. Criterios utilizados para la carga.....	- 81 -
3.3.4	SISTEMA DE CALENTAMIENTO. ....	- 82 -
	a. Cálculo de la resistencia eléctrica para el intercambiador de calor.....	- 81 -
3.3.5	ZONA DE DESCARGA. ....	- 85 -
3.3.6	RECIRCULACIÓN. ....	- 85 -
3.3.7	LINEA DE CONDUCCIÓN DE BIOGÁS.....	- 86 -
	a. Válvula de seguridad. ....	- 86 -
	b. Filtro de H <sub>2</sub> S.....	- 87 -
	c. Manómetro.....	- 87 -
3.4	DISEÑO ELECTROMECAÁNICO Y DE CONTROL.....	- 88 -
3.5	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO. ....	- 89 -
3.6	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	- 89 -
3.6.1	PRUEBA DE MASA SECA REALIZADA PARA LA CARGA. ....	- 90 -
3.6.2	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO EL PROTOTIPO DE BIODIGESTOR .....	- 95 -

## **CAPÍTULO IV**

### **COSTOS.**

4.1	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE LA PLANTA DEPURADORA UASB. ....	- 98 -
4.1.1	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.....	- 98 -
4.1.2	COSTOS DE OPERACIÓN.....	- 100 -
4.2	BENEFICIOS DE LA PLANTA DEPURADORA UASB.....	- 100 -

4.2.1 BENEFICIOS ECONÓMICOS RESULTANTES DE LA APLICACIÓN DE ESTA TECNOLOGÍA.....	- 101 -
4.2.2 BENEFICIOS MEDIOAMBIENTALES.....	- 101 -

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

5.1 CONCLUSIONES.....	- 102 -
5.2 RECOMENDACIONES. ....	- 103 -
BIBLIOGRAFÍA. ....	- 105 -

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

### **CAPÍTULO I**

Figura 1.1: Tipos de biomasa.....	- 14 -
-----------------------------------	--------

### **CAPÍTULO II**

Figura 2.1: Plantas pilotos construidas en Brasil .....	- 51 -
Figura 2.2: Esquema de planta compacta - Línea de tratamiento.....	- 52 -
Figura 2.3: Provincia de Cotopaxi.....	- 53 -
Figura 2.4: Separador GLS.....	- 63 -
Figura 2.5: Aprovechamiento de biogás .....	- 64 -
Figura 2.6: Diagrama de un filtro percolador típico .....	- 65 -
Figura 2.7: Laguna de clarificación .....	- 68 -

Figura 2.8: Lecho de secado de lodos.....	- 69 -
Figura 2.9: Curva característica bomba sumergible Pedrollo.....	- 71 -
Figura 2.10: Curva característica bomba sumergible Pedrollo.....	- 72 -

## **CAPÍTULO III**

Figura 3.1: Tanque de digestión .....	- 80 -
Figura 3.2: Sello hidráulico.....	- 81 -
Figura 3.3: Resistencia desempañadora de vidrio de 80W .....	- 82 -
Figura 3.4: Intercambiador de calor .....	- 83 -
Figura 3.5: Styroplan.....	- 85 -
Figura 3.6: Disposición de accesorios PVC .....	- 85 -
Figura 3.7: Línea de recirculación forzada.....	- 86 -
Figura 3.8: Válvula de seguridad y filtro de condensados.....	- 86 -
Figura 3.9: Filtro de H <sub>2</sub> S.....	- 87 -
Figura 3.10: Diseño de manómetro en mbar.....	- 88 -
Figura 3.11: Biodigestor en funcionamiento.....	- 89 -
Figura 3.12: Biomasa de ganado antes de realizar la prueba de masa seca .....	- 90 -
Figura 3.13: Pesado de biomasa de ganado después de la prueba ....	- 91 -
Figura 3.14: Medidor de gas Metrex .....	- 94 -
Figura 3.15: Muestra de aguas residuales ESPEL .....	- 96 -

## **ÍNDICE DE TABLAS**

### **CAPÍTULO I**

Tabla 1.1. Contaminantes en el agua residual.....	- 5 -
---	-------

Tabla 1.2. Caracterización típica de efluentes residuales .....	- 6 -
Tabla 1.3. Comparación de los procesos más utilizados para el tratamiento de aguas residuales .....	- 11 -
Tabla 1.4. Ventajas y desventajas del tratamiento anaerobio .....	- 12 -
Tabla 1.5. Fuentes de biomasa para su aprovechamiento en biodigestores .....	- 15 -
Tabla 1.6 Propiedades de una composición estándar de biogás.....	- 20 -
Tabla 1.7 Nivel de distribución de biogás.....	- 21 -
Tabla 1.8 Componentes del biogás y su efecto en las propiedades ....	- 21 -
Tabla 1.9 Análisis comparativo de los procesos comúnmente utilizados en el tratamiento de aguas residuales .....	- 36 -
Tabla 1.10 Mecanismos típicos de formación de metano .....	- 43 -
Tabla 1.11 Tipos de digestión según la temperatura de operación.....	- 46 -

## **CAPÍTULO II**

Tabla 2.1. Etapas de tratamiento de aguas residuales .....	- 52 -
Tabla 2.2. Tiempo de retención hidráulico .....	- 56 -
Tabla 2.3. Áreas recomendadas para tuberías de distribución .....	- 60 -
Tabla 2.4. Tasas de aplicación superficial y TRH clarificador .....	- 66 -
Tabla 2.5. Velocidades de paso a zona de clarificación .....	- 67 -
Tabla 2.6. Tasa de aplicación superficial .....	- 67 -
Tabla 2.7. Parámetros de evaluación .....	- 74 -

## **CAPÍTULO III**

Tabla 3.1. Funciones del prototipo.....	- 77 -
Tabla 3.2. Materiales utilizados para el intercambiador de calor .....	- 84 -
Tabla 3.3. Formato para el plan de carga diario .....	- 93 -

Tabla 3.4. Producción de biogás..... - 94 -

## **CAPÍTULO IV**

Tabla 4.1. Costos aproximados del proyecto ..... - 98 -

Tabla 4.2. Costos de operación de la planta UASB ..... - 100 -

## **ANEXOS.**

### **ANEXO A:**

**Anexo A-1:** TULAS Libro VI Anexo I Tabla 12.

### **ANEXO B:**

**Anexo B-1:** Esquema de flujo de la planta depuradora UASB.

**Anexo B-2:** Mapa Belisario Quevedo.

**Anexo B-3:** Plano Desarenador.

**Anexo B-4:** Plano Reactor UASB (Tuberías de alimentación, Captación de biogás).

**Anexo B-5:** Plano Reactor UASB (Separador GLS, Descarte de lodos, Tuberías de descarga).

**Anexo B-6:** Norma ATV-281 y Norma NRC.

**Anexo B-7:** Plano Biofiltro Percolador.

**Anexo B-8:** Plano Laguna de Clarificación.

**Anexo B-9:** Plano Lecho de secado de lodos.

**Anexo B-10:** Bomba Sumergible Pedrollo.

**Anexo B-11:** Circuito de Control y Potencia Planta UASB.

**Anexo B-12:** Formato para control de parámetros en la Planta UASB.

### **ANEXO C:**

**Anexo C-1:** Termostato digital TIC 17S.

**Anexo C-2:** Circuito de control y potencia prototipo Biodigestor.

**Anexo C-3:** Plan de carga diario.

**Anexo C-4:** Informe CESAQ-PUCE.

**ANEXO D:**

**Anexo D-1:** Manual de operación.

**Anexo D-2:** Manual de mantenimiento.

## RESUMEN

La Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga se encuentra en la actualidad promoviendo el uso de energías alternativas para su implementación en su nuevo campus, para esto se impulsan proyectos que apoyen a la investigación y difusión de nuevas tecnologías así como de vinculación con la comunidad. En este proceso, se plantea el diseño de un biodigestor para el tratamiento de aguas residuales y mediante éste obtener biogás el cual podría ser aprovechado en el nuevo campus de la ESPEL ya sea como sustituto del GLP o incluso para la generación de energía eléctrica. Por tal motivo se diseñó una planta para el tratamiento de aguas residuales la cual además del biodigestor UASB propuesto cuenta con las etapas de desarenado/cribado, biofiltro, clarificador y lecho de secado de lodos que permiten que el tratamiento de aguas residuales sea el adecuado para su posterior descarga a un cuerpo de agua dulce. La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra diseñada para un DQO máximo de 1000 mg/l. Por otra parte el biol obtenido del lecho de secado de lodos puede ser aprovechado en el mismo campus utilizándolo como fertilizante.

Dada la necesidad de simular condiciones de digestión anaerobia y producción de biogás se diseñó un prototipo el cual permite lograr condiciones óptimas de digestión para la producción y aprovechamiento de biogás. Para esto se diseñó un tanque de digestión anaerobio de flujo continuo, un sistema de calentamiento automático que permita mantener la mezcla a una temperatura de 37°C, un mecanismo que permita la carga y descarga de la materia orgánica, un sistema de agitación (recirculación) para mejorar la producción de biogás, y la línea de conducción de biogás que cuenta con una válvula de seguridad que impide la salida de biogás (además de realizar la función de trampa de condensados) y filtro de H<sub>2</sub>S para evitar malos olores y la corrosión en el quemador.

## **ABSTRACT**

The Army Polytechnic School Latacunga Extension is currently promoting the use of alternative energies for deployment in its new campus, to drive this project to support research and dissemination of new technologies as well as community outreach. In this process, there is the design of a digester for wastewater treatment and obtain biogas by it which could be exploited in new ESPEL campus either as a substitute for LPG or electricity generation. Therefore, we designed a plant for treating wastewater which besides the UASB digester has proposed stages of desanding / screening biofilter clarifier and sludge drying bed which allows treatment of the wastewater is suitable for subsequent discharge to a freshwater body. The treatment plant wastewater is designed for a maximum of 1000 mg COD / l. Moreover biol obtained from the sludge drying bed can be exploited in the same campus using it as fertilizer.

Given the need to simulate conditions of anaerobic digestion and biogas production designed a prototype which achieves optimum digestion for biogas production. That is why a continuous flow anaerobic digestion tank was designed, an automatic heating system which will maintain the mixture at a temperature of 37 °, a mechanism for loading and unloading organic material, a stirring system (recirculation) to improve the production of biogas and landfill gas pipeline which has a safety valve which prevents the exit of biogas (in addition to the function of trap condensate) and H<sub>2</sub>S filter to prevent odors and corrosion in the burner.

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

### 1.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

#### 1.1.1 Aspectos generales de un agua residual.

El agua residual es un producto inevitable de las actividades humanas, se recolecta y transporta por medio de sistemas de alcantarillado hacia un sitio de descarga final, generalmente a cuerpos naturales de agua o hacia una planta de tratamiento. Los diversos tipos de agua residual, se nombran de acuerdo a su procedencia o estado de descomposición, el cual está directamente relacionado con el consumo de oxígeno.

De acuerdo a su procedencia, se clasifica de la siguiente manera:

**1. Doméstica:** Utilizada en las actividades de alimentación e higiene personal, proveniente de casas habitación o residencias, edificios comerciales e institucionales.

**2. Municipal:** Ha sido utilizada en los servicios urbanos tales como lavado de calles, banquetas, vehículos y riego de áreas verdes de una ciudad o población.

**3. Comercial:** Descargada por establecimientos comerciales como restaurantes, bares, centros comerciales, estadios, lavanderías, etc.

**4. Industrial:** Proveniente de los procesos y servicios industriales de manufactura.

**5. Agrícola:** Aquella que escurre después de haber sido utilizada en el riego de sembradíos.

**6. Pluvial:** Proveniente del escurrimiento superficial de las lluvias que fluyen de los techos, pavimentos y otras superficies de terreno.

**7. Combinada:** Mezcla de agua doméstica, municipal, comercial, pluvial, etc., recolectada en una misma alcantarilla.

De acuerdo a su estado de descomposición:

**1. Frescas:** Contienen oxígeno en su interior con olor mohoso (húmedo), además de ser turbias y de color grisáceo.

**2. Sépticas:** El oxígeno se termina completamente provocando una descomposición anaerobia, son de color negro debido al desprendimiento de ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) y otros gases de olor fétido.

**3. Estabilizadas:** Los sólidos se descomponen generando que el oxígeno se presente de nuevo estabilizando la materia orgánica, disminuyendo de ésta manera el olor fétido y turbiedad.

El correcto conocimiento de la naturaleza del agua residual, fundamenta el correcto diseño y operación de las instalaciones de recolección, tratamiento y disposición de la misma.

#### **a. Características**

De acuerdo con Van Haandel y Lettinga (1994), los constituyentes más importantes de los desechos líquidos (Tabla 1.1), le confieren al agua residual propiedades físicas, químicas o biológicas indeseables, su composición y concentración determinadas por su caudal y fuente,

dependen hasta cierto punto de las costumbres socioeconómicas de cada población contribuyente.

El contenido total de sólidos gruesos, temperatura, densidad, turbiedad, olor, color, materia sedimentable, coloidal y disuelta, son algunas características físicas más importantes, donde los sólidos representan el mayor problema a nivel de tratamiento por ser muy pequeñas.

Cerca del 75% de sólidos en suspensión y 40% de sólidos filtrables del agua residual son de naturaleza orgánica proveniente de las actividades humanas, residuos animales y vegetales, constituidos principalmente de proteínas, carbohidratos, grasas y/o aceites, urea, además pequeñas cantidades de moléculas orgánicas sintéticas con estructuras simples a complejas, ejemplo de ello son los agentes tensoactivos, compuestos orgánicos volátiles y pesticidas en el uso agrícola.

Algunos compuestos tóxicos inorgánicos son; el Cobre (Cu), Plata (Ag), Plomo (Pb), Arsénico (As), Bromo (Br), Níquel (Ni), Manganeseo (Mn), Cromo (Cr), Cadmio (Cd), Zinc (Zn), Hierro (Fe) y Mercurio (Hg), afectando en mayor o menor grado a los microorganismos en el tratamiento biológico. La determinación de las concentraciones del pH, alcalinidad, cloruros, nitrógeno ( $N_2$ ) y fósforo (P) son de gran importancia químicamente, ya que pueden afectar el uso del agua.

El nitrógeno gaseoso ( $N_2$ ), oxígeno ( $O_2$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), amoníaco ( $NH_3$ ), y metano ( $CH_4$ ), son algunos gases que se encuentran con mayor frecuencia en las aguas residuales.

### **1.1.2 Aguas residuales domésticas**

Las aguas residuales domésticas son aquellas generadas en viviendas, lugares comerciales o públicos caracterizadas por la

presencia de eses fecales y restos de moléculas producto de actividades de limpieza. Estas aguas son potencialmente peligrosas, por sus efectos sobre la salud humana y el medio ambiente. A nivel de América Latina, menos del 6% de la población, cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales<sup>1</sup>. En el Ecuador, el 6,3% de las aguas residuales promedio recibe algún tipo de tratamiento, siendo a nivel urbano el 7% y a nivel rural el 5%.

#### **a. Características**

Distintos autores han caracterizado la composición del agua residual doméstica en base a estadísticas ponderadas con muestras tomadas en diferentes países.

La tabla 1.2 presenta una típica caracterización de los efluentes residuales cuando no han recibido ningún tipo de tratamiento.

---

<sup>1</sup> Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS. 2000. Evaluación de los servicios de agua potable y saneamiento en las Américas.

**Tabla 1.1. Contaminantes en el agua residual.**

Contaminantes	Parámetros típicos de medida	Fuente	Causa de su importancia	Efectos causados por la descarga del agua residual en cuerpos receptores
Sólidos suspendidos	SST, SSV	ARD Y ARI; erosión del suelo	Las partículas adsorben contaminantes orgánicos y metales pesados; protegen a los microorganismos de agentes desinfectantes y en cantidades excesivas tapan los sistemas de irrigación.	Deposición en los lechos de los ríos; si es orgánica se descompone y flota mediante el empuje de los gases; cubre el fondo desarrollando condiciones anaerobias e interfiere con la reproducción de los peces o transforma la cadena alimenticia.
Sustancia biodegradable (Materia orgánica)	DBO, DQO	ARD Y ARI	Está compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas/aceites. Si no es previamente removida puede producir agotamiento del oxígeno disuelto de la fuente receptora y desarrollo de condiciones sépticas que significan problemas estéticos y de salud ambiental. La materia orgánica provee alimento a los microorganismos e interfiere con los procesos de desinfección.	Agotamiento del oxígeno, muerte de peces, olores indeseables, condiciones sépticas.
Nutrientes -Nitrógeno -Fósforo	- Nitrógeno amoniacal y total - Ortofosfatos	ARD, ARI Y ARA. ARD y ARI; descarga natural	Nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, su presencia mejora la calidad del agua de riego. Cuando son descargadas a un cuerpo de agua en (N),(C) y (P) pueden influir en el crecimiento de malezas acuáticas. Al aplicar niveles excesivos de (N) en los cultivos, puede incrementarse la concentración de nitratos en aguas subterráneas.	Crecimiento indeseable de algas y plantas, las cuales alteran el ecosistema acuático, causando malos olores.
Materia tóxica -Metales pesados -Compuestos orgánicos tóxicos		ARI ARA Y ARI	Algunos se acumulan en el ambiente y son tóxicos para plantas/animales	Deterioro del ecosistema, envenenamiento de los alimentos en el caso de acumulación provocando intoxicaciones y muerte de los seres vivos, además de ser cancerígenos.
Sólidos inorgánicos disueltos Cloruros Sulfuros pH	(Iones de hidrógeno) pH	Abastecimiento agua, uso agua, infiltración ARD Y ARI ARI	Afecta la desinfección, coagulación, solubilidad de los metales y la alcalinidad. En las aguas domésticas el pH va de 6.5 a 8.5, pero en las aguas industriales pueden variar en un intervalo más amplio.	Incremento del contenido de sal. Se deben eliminar si se va a reutilizar el agua residual.
MO refractaria (Difícil de degradar biológicamente)		ARI (fenoles, surfactantes), ARD (surfactantes) y ARA (pesticidas, nutrientes); materia resultante del decaimiento de la MO.	Algunos de estos compuestos resisten los métodos convencionales de tratamiento y son tóxicos en el ambiente, lo que puede limitar los usos del agua, sobre todo para el consumo humano.	Resisten el tratamiento convencional, pero pueden afectar el ecosistema.
Microorganismos patógenos	Coliformes fecales	ARD	Existen en grandes cantidades en las aguas residuales y son transmisores de enfermedades contagiosas para el hombre.	Contagio de enfermedades, generando que el agua sea insegura para consumo y recreación.

MO; Materia orgánica/ ARD: Aguas residuales domésticas/ ARI: Aguas residuales Industriales/ ARA: Aguas residuales Agrícolas

**Fuente:** Romero Rojas Jairo Alberto., "Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización", 3ra edición, Ed. Alfaomega., México, D.F, 1999, 281 pp.

**Tabla 1.2** Caracterización típica de efluentes residuales.

Compuesto	Unidad	Concentración		
		Máxima	Media	Mínima
Sólidos Totales	mg/L	1200	720	350
Totales disueltos	mg/L	850	500	250
Fijos	mg/L	525	300	145
Volátiles	mg/L	325	200	105
Suspendidos Totales	mg/L	350	220	100
Fijos	mg/L	75	55	20
Volátiles	mg/L	275	165	80
Sólidos Sedimentados	mg/L	20	10	5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en día a 20 °C	mg/L	400	220	110
Carbono orgánico total (TOC)	mg/L	290	160	80
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	1000	500	250
Nitrógeno (Total como N)	mg/L	85	40	20
Orgánico	mg/L	35	15	8
Amonio Libre	mg/L	50	25	12
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo (Total como P)	mg/L	15	8	4
Orgánico	mg/L	5	3	1
Inorgánico	mg/L	10	5	3
Cloruros	mg/L	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	200	100	50
Grasa	mg/L	150	100	50

Fuente: Urcola, 1998

### 1.1.3 Importancia del tratamiento de las aguas residuales

Durante mucho tiempo la naturaleza purificó las aguas diluyendo los desperdicios recibidos, pero con el crecimiento demográfico constante y el desarrollo industrial, generó la diversificación de sus actividades socioeconómicas, produciendo a su vez un aumento inevitable de las aguas negras descargadas en cuerpos receptores sin previo tratamiento, contaminándolos seriamente con el paso del tiempo debido a la insuficiencia de llevar a cabo la auto purificación de los desechos líquidos acumulados.

Esto dio lugar a la modificación de sus características propias como; aglomeración de sólidos en el fondo de los cauces, proliferación de microorganismos patógenos, aumento de compuestos tóxicos, eutrofización, muerte de flora/fauna, eliminación de oxígeno disuelto y producción de olores desagradables por la descomposición de materia orgánica, dando origen a condiciones insalubres que ocasionan enfermedades graves e incluso la muerte. Por tal motivo, es de vital importancia tomar cartas en el asunto y contribuir al saneamiento ambiental, mediante sistemas que permitan afrontar el problema en sus propias y actuales dimensiones.

En el tratamiento de aguas residuales el objetivo principal es eliminar su poder nocivo, de tal manera que su uso o disposición final, pueda ocurrir de acuerdo con las reglas y criterios establecidos por las autoridades legislativas correspondientes, con la finalidad de proteger la salud y promover el bienestar de los individuos miembros de una sociedad, al reducir la concentración de los contaminantes más importantes.

De acuerdo con la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes que rige en el Ecuador<sup>2</sup> (Anexo A1), se pueden comparar los análisis de aguas residuales con los límites permisibles para la descarga a un cuerpo de agua dulce, permitiendo de esta manera regirnos bajo normas y leyes Ecuatorianas.

#### **1.1.4 Sistemas alternativos para el tratamiento de aguas residuales**

De acuerdo con Peña (1998), en países desarrollados el número de alternativas factibles para el tratamiento de aguas residuales puede estar limitado debido a una regulación ambiental más estricta. Contrariamente sucede con los países subdesarrollados, debido a la existencia de diversos estándares de calidad. Estos factores son críticos al seleccionar

---

<sup>2</sup> TULAS, Libro VI, Anexo 1, Tabla 12.

preliminarmente los sistemas más adecuados para un contexto particular.

En nuestros días, existe una gran variedad de sistemas para el tratamiento de aguas negras, los principales métodos actualmente empleados son; pre tratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario o avanzado. Sin embargo, estos deberán ser seleccionados sobre la base del contexto local específico donde serán aplicados.

**a. Pretratamiento:** Este proceso consiste en eliminar los constituyentes del agua residual que puedan ocasionar problemas de mantenimiento y funcionamiento a posteriores tratamientos. Entre ellos se pueden citar; rejillas de desbaste para reducir sólidos gruesos, flotación para la eliminación de grasas/aceites y desarenado para el retiro de material en suspensión que pueda provocar obstrucciones o desgaste de los equipos.

**b. Tratamiento primario:** Mediante este tipo de tratamiento se elimina 60% de sólidos suspendidos y 30% materia orgánica, generalmente se emplea coagulación y sedimentadores.

**c. Tratamiento secundario:** Su objetivo principal es eliminar la materia orgánica (DBO) y sólidos suspendidos que no fueron eliminados en el tratamiento primario. Utiliza procesos físico-químicos (precipitación, coagulación y floculación) y biológicos donde las bacterias, son el principal agente purificador en forma de biomasa.

**d. Tratamiento terciario o avanzado:** Proceso posterior al tratamiento secundario, reside en la eliminación de nutrientes, compuestos tóxicos, excesos de materia orgánica y sólidos en suspensión, mediante la filtración, coagulación, nitrificación, desnitrificación, absorción por carbón,

intercambio iónico, ósmosis inversa y desinfección.

Generalmente la selección de tecnologías para el tratamiento y recolección de las aguas residuales, deberá tener en cuenta la disponibilidad de recursos económicos y técnicos, así como la remoción de los siguientes contaminantes; DBO, sólidos suspendidos, patógenos, nitrógeno, detergentes, fenoles, pesticidas, metales pesados y sustancias inorgánicas disueltas, considerando las alternativas del reúso del agua, adoptando una adecuada metodología para la selección del tratamiento, tal como los presentados por Veenstra y Madera et. al. (1998).

### **1.1.5 Tratamiento biológico**

El principio fundamental del proceso biológico es la auto purificación de las aguas, donde los sólidos suspendidos y la materia orgánica disuelta son transformados en materia celular, gases ( $\text{CO}_2$ ) y energía, mediante la acción de microorganismos. Para obtener una mejor eficiencia de remoción en el tratamiento biológico, el ingeniero pretende acelerar y optimizar dicho proceso considerando las características del agua residual (nutrientes y ausencia de compuestos tóxicos), condiciones del sistema (temperatura, pH, concentración de oxígeno adecuados), y tipo de microorganismos que requieren de C, N, H, y en menor proporción; F, S, K, Ca, Mg, Zn, además de limitar la concentración de algunas sustancias que inhiben su crecimiento, propiciando así una mejor estabilización de la materia orgánica<sup>3</sup>.

Dentro de los procesos de tratamiento biológico existen los siguientes;

**a. Procesos aerobios:** El desdoblamiento de la materia orgánica es realizado a través de procesos bioquímicos, con la intervención de

---

<sup>3</sup> Metcalf & Eddy, "Ingeniería Sanitaria, Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales" 2da edición, Ed. Labor S.A. México, D.F., 1985, 1995, 969 pp.

enzimas producidas por las bacterias en sus funciones vitales en presencia de oxígeno disuelto. En este sistema participan bacterias aerobias o facultativas.

**b. Procesos anaerobios:** Sistema cuyo metabolismo bacteriano se realiza en ausencia de oxígeno libre, es capaz de transformar la materia orgánica presente de las aguas residuales en lodos y biogás. Participan bacterias estrictamente anaerobias.

**c. Procesos facultativos:** La descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo por organismos que son indiferentes en la presencia o ausencia de oxígeno disuelto. En este proceso participan bacterias aerobias, anaerobias y facultativas.

**d. Procesos combinados:** Es la combinación de los procesos anteriores.

#### **1.1.6 Comparación de los procesos más utilizados para el tratamiento de aguas residuales.**

Debido a la necesidad de conocer cuál de estos dos procesos ya sea el aerobio o anaerobio es el que más beneficios presenta tanto económica como técnicamente se realizó la siguiente tabla (Tabla 1.3).

**Tabla 1.3.** Comparación de los procesos más utilizados para el tratamiento de aguas residuales.

<b>Aerobio</b>	<b>Anaerobio</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fermentación de la glucosa <math>C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O</math></li> <li>• Mayor eficiencia de remoción.</li> <li>• Operatividad comprobada.</li> <li>• 50% de carbono es convertido en <math>CO_2</math>, 40 – 50 % es incorporado dentro de la masa microbiana.</li> <li>• 65% de la energía es almacenada en la nueva biomasa, 35% es perdido en calor.</li> <li>• Ingreso de elevada energía para aireación.</li> <li>• Limitación de cargas orgánicas.</li> <li>• Se requiere adición de nutrientes.</li> <li>• Requerimiento de grandes áreas.</li>   <li>• Periodos de arranque cortos.</li> <li>• Tecnología establecida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fermentación de la glucosa <math>C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CO_2 + 3CH_4</math></li> <li>• Menores costos de operación.</li> <li>• Operación sencilla, bajo costo.</li> <li>• 95% de carbono es convertido en biogás; 5% es transformado en biomasa microbiana.</li>   <li>• 90% de la energía es retenida como <math>CH_4</math>, 3 – 5 % es perdido como calor, 5 – 7 % es almacenada en la biomasa.</li> <li>• No requiere de energía eléctrica.</li>   <li>• Acepta altas cargas orgánicas.</li>   <li>• Requerimiento bajo de nutrientes.</li>   <li>• Requerimiento de pequeña área superficial.</li>   <li>• Largos periodos de arranque.</li> <li>• Tecnología recientemente establecida, todavía bajo desarrollo para aplicaciones específicas.</li> </ul>

**Fuente:** El autor.

La tabla 1.3 fundamenta lo citado por Lettinga (1995), referido a que el tratamiento anaerobio debería ser el método principal de depuración de

aguas residuales, debido a sus beneficios y enormes potenciales. Aunque los sistemas tradicionales de tratamiento aerobio alcanzan excelentes eficiencias, ellos no reúnen los criterios necesarios para la sostenibilidad de las inversiones en escenarios de recursos de capital y mano de obra calificada.

A continuación se mencionan las ventajas y desventajas del tratamiento anaerobio (Tabla 1.4).

**Tabla 1.4.** Ventajas y desventajas del tratamiento anaerobio

Ventajas	Desventajas
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Los lodos son razonablemente estables y pueden secarse y disponerse por métodos convencionales.</li> <li>2. El lodo anaerobio puede ser preservado (inactivo) por muchos meses sin serios deterioros.</li> <li>3. Utiliza poca energía al no emplear equipo de aireación, generando un ahorro económico de inmovilizado, así como de consumo energético.</li> <li>4. Es especialmente adaptable a aguas residuales de alta concentración orgánica.</li> <li>5. Produce metano (biogás), el cual puede ser utilizado en el calentamiento del reactor. Tiene un valor calorífico de aproximadamente 36500 KJ/m<sup>3</sup>.</li> <li>6. El coeficiente de producción de biomasa es mucho menor, esto significa que produce menos</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Requiere de temperaturas altas, alrededor de los 35°C, lo que significa que necesita de un precalentamiento en la alimentación o en el reactor anaerobio.</li> <li>2. Produce malos olores, principalmente por la producción de; ácidos grasos, amidas, mercaptanos y ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), provocando este último, riesgo a la salud, fundamentalmente en zonas urbanas.</li> <li>3. Necesitan mayores tiempos de residencia.</li> <li>4. El proceso es sensible a cargas de choque, además de ser un medio corrosivo.</li> <li>5. Exige un intervalo de operación de pH bastante restringido.</li> <li>6. Requiere altas concentraciones de alcalinidad.</li> </ol>

<p>biomasa y en consecuencia presenta ahorros considerables en el proceso de manejo y evacuación del exceso de lodo (purga).</p> <p>7. Menor requerimiento de nutrientes (nitrógeno y fósforo).</p> <p>8. Se pueden operar cargas orgánicas superiores en los influentes.</p> <p>9. Requiere de menor espacio.</p> <p>10. Bajo costo de mantenimiento.</p> <p>11. Aplicable a escala muy variable.</p> <p>12. Baja emisión de aerosoles, gérmenes y olores.</p>	<p>7. Crecimiento lento de las bacterias involucradas (particularmente las metanogénicas), causantes de la fermentación del ácido acético y propiónico, debido a que son susceptibles a inhibirse por un gran número de compuestos tóxicos.</p> <p>8. Su arranque es lento y difícil.</p> <p>9. Los efluentes tratados pueden requerir de un post tratamiento, debido a que conservan aún cierto contenido de materia orgánica y ausencia de oxígeno disuelto.</p>
---	--

**Fuente:** El autor.

Como se puede observar de la tabla anterior, el tratamiento anaerobio para las aguas residuales puede tener una eficiencia aceptable en la remoción de materia orgánica, aún con muy poco tiempo de residencia siempre y cuando se tenga un control adecuado de los factores que intervienen en él como son:

- Medio ambiente del reactor
- Población bacteriana
- Tiempo de residencia
- Intensidad de contacto

Lo que permite obtener los siguientes resultados:

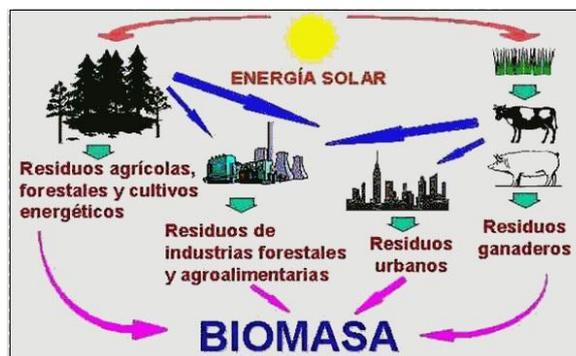
- Eficiencia de remoción aceptable que permite recuperar/preservar recursos a bajo costo.
- No requiere de equipo electromecánico para la aireación.
- Requerimiento mínimo de área superficial.

- Operación/mantenimiento simple.
- Adición mínima de nutrientes.

Recuperación de subproductos como biogás y lodo que permiten estimular la producción agrícola. Lo que constituye al tratamiento biológico anaeróbico como una opción económica, eficiente, segura y sencilla.

## 1.2 BIOMASA Y PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, papas, etc.), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas residuales, basura orgánica y otros), ver figura 1. Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego.



**Figura 1.1.** Tipos de biomasa.

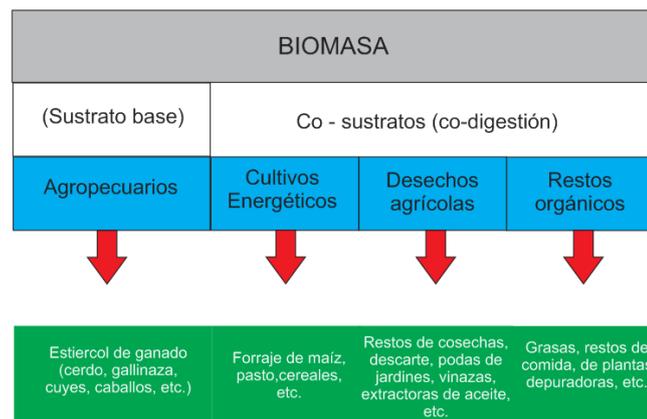
Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía; transformándola, por ejemplo, en combustibles líquidos o gaseosos, los cuáles son más convenientes y eficientes.

La producción de biogás la determina el contenido de proteínas, hidratos de carbono y grasas que forman la biomasa “La mayor cantidad de

biogás se obtiene de las grasas, pero el mayor porcentaje de gas metano se obtiene de las proteínas (71 %)” (Perry L. M cCarty, “Chemistry for environmental engineering and science”, 2003, pág. 198). La menor producción de metano se obtiene de los hidratos de carbono. Por estas razones es muy importante lograr una mezcla de sustrato equilibrada en donde se produzca la mayor cantidad de biogás, pero también el mayor contenido porcentual de gas metano.

Existen cuatro grandes grupos de fuentes de biomasa para su aprovechamiento en biodigestores como se muestra en la tabla 1.5.<sup>4</sup>

**Tabla 1.5:** Fuentes de biomasa para su aprovechamiento en biodigestores.



**Fuente:** Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás, Dipl. Ing. Sanitario Ambiental Gabriel Moncayo Romero.

## 1.2.1 Tipos de biomasa

### a. Biomasa natural

Es la que se produce en la naturaleza sin la intervención del hombre, por ejemplo en bosques, matorrales, montañas, áreas no cultivadas, etc. No

<sup>4</sup> Dimensionamiento, diseño y construcción de plantas de biogás. Ing. Gabriel Moncayo Romero, Aqualimpia Beratende Ingenieure, 2011

se recomienda el aprovechamiento indiscriminado de esta biomasa ya que puede causar daños al medio ambiente, por ejemplo deforestación. La utilización de estos recursos requiere de la gestión durante su adquisición y transporte hasta el sitio de consumo lo que puede provocar que su uso no sea viable económicamente.

Esta biomasa procede de actividades agrícolas, agropecuarias y forestales, así como subproductos de industrias agroalimentarias, de procesos de madera, mataderos, rellenos sanitarios, etc. La utilización de este tipo de biomasa ofrece buenas perspectivas debido a que por un lado no se contamina el medio ambiente y por otro se convierte un residuo en un recurso.

#### **b. Biomasa producida en plantaciones energéticas**

Los cultivos energéticos para producción de biomasa para la elaboración de combustibles, son ya una realidad en algunos países; principalmente en Brasil, Estados Unidos, Argentina, Alemania, etc., que se enfocan a la producción de caña de azúcar y maíz, a la obtención de etanol para la fabricación de carburantes y biogás para la producción de electricidad. Los residuos agrícolas, forestales y los productos procedentes de plantaciones de cultivos energéticos en tierras marginales son los denominados residuos de naturaleza lignocelulósica (biomasa). Los residuos forestales provienen del manejo de bosques, elaboración de la madera y los residuos agrícolas de podas de cultivos leñosos o no leñosos (árboles frutales, plantaciones de plátanos, etc.) y restos de cultivos herbáceos.

Se estima que la población del mundo crecerá de 7 a 9 mil millones para el año 2030. La alimentación de esta población requerirá de grandes avances en tecnologías de producción que incrementen el suministro de alimentos sin contaminar el medio ambiente. La producción de alimentos va a generar por otro lado grandes cantidades de desechos que se

podrán aprovechar en biodigestores.

### **c. Residuos agropecuarios**

Uno de los problemas más críticos que enfrenta el mundo actual es el manejo inadecuado de los residuos producidos por las actividades agropecuarias y agroindustriales. Estos residuos pueden ser líquidos, semisólidos o sólidos y deben ser acondicionados antes de que sean alimentados a los digestores, para que permitan el desarrollo y la acción de las bacterias. La preparación previa a la que se someten estos residuos depende de su naturaleza.

### **d. Desechos urbanos**

Los centros urbanos generan una gran cantidad de biomasa en muchas formas, por ejemplo: residuos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas negras. La mayoría de los países de Sudamérica carecen de adecuados sistemas para su procesamiento, lo cual genera grandes problemas de contaminación de suelos y cuencas; sobre todo por la inadecuada disposición de la basura y por sistemas de recolección y tratamiento con costos elevados de operación. Por otro lado, la basura orgánica en descomposición produce compuestos volátiles (metano, dióxido de carbono, entre otros) que contribuyen a aumentar el efecto invernadero. Estos compuestos tienen un considerable valor energético que puede ser utilizado para la generación de energía "limpia".

En el corto y mediano plazo, la planificación urbana deberá incluir sistemas de tratamiento de desechos que disminuyan eficazmente las emanaciones nocivas de los desechos al ambiente, dándoles un valor de retorno por medio del aprovechamiento de su contenido energético, pues aproximadamente el 80% de toda la basura orgánica urbana puede

ser convertida en energía.

### **1.2.2 Selección de la biomasa**

Para seleccionar la biomasa se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- El contenido de sustancias orgánicas debe ser el apropiado para el tipo de fermentación elegido.
- El valor nutricional de la sustancia orgánica se relaciona directamente con el potencial de formación de biogás, por ende se busca que sea lo más alto posible.
- El sustrato debe estar libre de agentes patógenos que pueden inhibir el proceso de fermentación.
- El contenido de sustancias perjudiciales o tóxicas debe ser controlado para permitir una tranquila evolución de la fermentación.
- Es importante que el resultado final del sustrato (después de haber aprovechado la fermentación para generar biogás) sea un desecho utilizable como por ejemplo fertilizante.

### **1.2.3 Características de la biomasa.**

#### **a. Masa Seca (MS)**

La masa seca es la cantidad de sólidos que contiene la biomasa, básicamente es la consistencia de la biomasa, el porcentaje de masa seca se obtiene sometiendo una cantidad de biomasa, previamente pesada, a 110 °C, después de este proceso toda la humedad desaparece, se vuelve a pesar la materia resultante y se obtiene este porcentaje.

Al determinar el porcentaje de masa seca también determinamos el

porcentaje de humedad, dato que nos ayuda para diluir la biomasa a su parámetro apropiado de alimentación al biodigestor.

### **b. Masa Volátil (MV)**

Es el volumen de masa orgánica que contiene la biomasa. La masa volátil es el componente que se volatiliza después de la incineración de la masa seca durante 6 horas a 550 °C. Las cenizas que quedan después del secado corresponden al componente inorgánico de la masa seca.

El conocimiento de la MV es importante ya que solo este porcentaje es el contenido real de masa orgánica en la biomasa. El resto es humedad, trazas inorgánicas y otros materiales que no producen biogás.

### **c. Carga Orgánica Volumétrica (COV)**

La carga orgánica volumétrica es la cantidad de materia orgánica seca que se carga al biodigestor diariamente, en kilogramos por metro cúbico del biodigestor, transformándose en una constante en el manejo de esta tecnología, una COV muy baja hace que las bacterias no tengan suficiente alimento y baje la producción de biogás, una COV muy alta hace que la mezcla sea muy espesa y dificulte la movilidad de las bacterias, baje la efectividad del proceso y el exceso de biomasa no sea consumida disminuyendo así la producción de biogás, un valor sugerido para el óptimo funcionamiento es de 2 a 3 Kg de COV por metro cúbico. Este parámetro es de gran importancia ya que nos ayuda para el dimensionamiento del biodigestor.

## **1.3 Biogás**

El biogás está constituido principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y una serie de impurezas que dependen del origen

primario del biogás, en la tabla 1.6, se muestran propiedades de un tipo estándar de biogás.

**Tabla 1.6.** Propiedades de una composición estándar de biogás.

Energía contenida	6.0 – 6.5 Kwh./m <sup>3</sup>
Equivalente en combustible	0.6 – 0.5 L <sub>petroleo</sub> /m <sup>3</sup> biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750 °C (según metano contenido indicado)
Presión crítica	7589 bares.
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 Kg/m <sup>3</sup>
Olor	Huevos en mal estado
Masa molar	16.043 Kg/Kmol

**Fuente:** Biogas from waste and renewable, Dieter Deublein y Angélica Steinhauser, 2008 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

### 1.3.1 Biogás comparado con otros gases basados en metano.

El gas más conocido que posee metano es el biogás, existen muchas variantes de gas natural dependiendo de su lugar de origen y se diferencian en su composición química, en su razón de elementos químicos y por ende en sus propiedades.

Las diferencias radican en el índice de Wobbe, poder calorífico y contenido de metano.

En la tabla 1.7, se muestran las características según el nivel de la cadena de distribución del biogás.

**Tabla 1.7.** Nivel de distribución del biogás.

Nivel de presión	Presión (bar)	Diámetro de tubería (mm)	Flujo (m/s)
Baja presión	<0.03	50 – 60	0.5 – 3.5
Baja presión	0.03 – 0.1	50 – 60	1 – 10
Media presión	0.1 – 1	100 – 400	7 – 18
Alta presión	1 – 16	300 – 600	<20
Alta presión	40 – 120	400 – 1600	<20

**Fuente:** Biogas from waste and renewable, Dieter Deublein y Angélica Steinhauser, 2008 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

### 1.3.2 Componentes presentes en el biogás y sus efectos.

Los componentes más comunes en el biogás son:

- CH<sub>4</sub>
- CO<sub>2</sub>
- H<sub>2</sub>S
- Vapor de agua
- Polvo
- Siloxenos

En la tabla 1.8 se muestra los componentes del biogás y su efecto en sus propiedades.

**Tabla 1.8.** Componentes del biogás y su efecto en las propiedades.

Componente	Porcentaje	Efecto en sus propiedades
CH <sub>4</sub>	55 – 70 % vol	Puede causar incendios o explosiones.
		Impacto venenoso en los seres humanos expuestos durante largo tiempo.
		Explosivo en concentraciones entre 5 – 15 %; en concentraciones más elevadas de 15 %, es inflamable.

CO <sub>2</sub>	30 – 45% vol	Baja el poder calorífico
		Incrementa el número de metano
		Causa corrosión
		Daña celdas alcalinas de combustible
H <sub>2</sub> S	0 – 0.5 % vol	Corrosión en equipos y piping
		Emisiones de SO <sub>2</sub> después de los quemadores
		Emisión de H <sub>2</sub> S en combustión imperfecta
		Inhibición de la catálisis.
NH <sub>3</sub>	0 – 0.05 % vol	Emisión de NO <sub>x</sub>
		Daño en las celdas de combustibles
Vapor de agua	1 – 5 % vol	Corrosión en equipos y piping
		Daños de instrumentos por condensado
		Riesgo de congelar y bloquear tuberías y válvulas
Polvo	>5µm	Bloquea las boquillas y celdas de combustibles
N <sub>2</sub>	0 – 5 % vol	Baja el poder calorífico
Siloxenos	0 – 50 mg/m <sup>3</sup>	Actúan como abrasivos, daño en motores

**Fuente:** El autor.

### 1.3.3 Efectos del CO<sub>2</sub> en el biogás.

La presencia de CO<sub>2</sub> en el gas se mide en la razón de CO<sub>2</sub>/metano (%vol) y puede ser controlada parcialmente debido a que es esencial en la formación de metano en el gas por lo que no se busca hacerlo desaparecer.

Los factores que afectan la composición de CO<sub>2</sub> son:

- Generalmente la descomposición anaeróbica de la biomasa mejora con el tiempo de exposición, cercano el final del tiempo de

residencia<sup>5</sup> el contenido de metano aumenta desproporcionadamente a medida que el contenido de CO<sub>2</sub> va desactivando el proceso de hidrólisis.

- A mayor temperatura de fermentación, disminuye la cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto en el agua.
- Una alta presión durante el proceso lleva a una mayor concentración de CO<sub>2</sub> presente en el agua, esto se puede aprovechar si se purga material con alto contenido de CO<sub>2</sub> disuelto en el agua (claramente una vez iniciado el proceso de proliferación bacteriana).

#### **1.3.4 N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> presente en el biogás.**

El nitrógeno y oxígeno presente en el biogás se encuentra normalmente en proporción 4:1 y usualmente se incorporan en las etapas de ventilación que tienen como objetivo eliminar el ácido sulfhídrico presente en el reactor, estos gases pueden entrar también normalmente en pequeñas cantidades si el sistema no está perfectamente hermético.

#### **1.3.5 Amoníaco presente en el biogás.**

Normalmente la concentración de amoníaco es baja (<0.1 mg/m<sup>3</sup>), cuando los substratos usados provienen de excremento de aves o en algunos casos particulares de basura la presencia de amoníaco se puede incrementar hasta no superar los 1.5 mg/m<sup>3</sup>, por sobre este límite existe riesgo para los quemadores inclusive para la vida de los motores utilizados.

---

<sup>5</sup> Tiempo de residencia: Periodo en el cual se aprovecha la biomasa para extraer biogás, este varía según el control de los parámetros y el substrato o biomasa utilizado.

### **1.3.6 Ácido sulfhídrico presente en el biogás.**

La cantidad de  $H_2S$  presentes en los gases de escape depende principalmente del proceso utilizado para la obtención del biogás y del tipo de substrato involucrado.

El sulfuro de hidrógeno contenido en el biogás, junto con la humedad de éste, se convierte en ácido sulfúrico ( $H_2(SO)_4$ ), el cual es nocivo para ciertos equipos como calentadores de agua, motores o refrigeradores. Por lo tanto la reducción del sulfuro de hidrógeno se hace necesaria cuando el biogás presenta sobre el 2% en volumen de este compuesto. Sin embargo la desulfuración no es necesaria si el biogás contiene menos de 1% de este compuesto.

Con el fin de eliminar o disminuir el porcentaje de  $H_2S$  en el biogás se emplean sistemas de filtro con sustancias como cal viva o apagada, limadura de hierro o ciertos tipos de tierra conocidas como hermatites parda o limonita, las cuales son ricas en sustancias ferrosas. Estas masas se regeneran al entrar en contacto con aire por lo que podrán ser usadas nuevamente. La capacidad absorbente de esta masa depende de la cantidad de hierro que contenga. Una masa que contiene entre 5 a 10 % de hidróxido de hierro puede absorber 15 g. de sulfuro por kilo sin ser regenerada, pudiendo remover hasta 150 g. de sulfuro al ser regenerada.

### **1.3.7 Siloxenos presentes en el biogás**

Los siloxenos son variantes de la silicona y se presentan como grupos separados en el biogás, estos componentes pueden ser hallados principalmente en cosméticos, detergentes, tintas de impresión y en materiales de construcción, es por esto que en los desechos domésticos, que son substrato principal para el biogás obtenido de plantas de tratamiento de agua o de vertederos, se encuentran muchos de los

compuestos derivados de la silicona. Sin embargo el contenido de siloxenos puede ser alto en plantas que fermentan mezclas de substratos (con una parte proveniente de fangos de cloaca).

Concentraciones aceptables de estos compuestos son de  $0.2 \text{ mg/m}^3$ , cuando se quema biogás con siloxenos presentes se forma  $\text{SiO}_2$  lo que se deposita en la superficie de partes de máquinas, pero en motores que queman biogás puede producir abrasión de la superficie de los pistones.

## **1.4 Tratamiento anaerobio**

### **1.4.1 Tecnología biológica anaerobia.**

El tratamiento de agua residual mediante procesos anaerobios, fue considerando en siglos pasados como ineficiente y lento, sin embargo, Lettinga (1995) ha demostrado en recientes estudios, que se puede obtener grandes beneficios y enormes potenciales, si éstos son realizados de manera adecuada. El conocimiento profundo del proceso, tanto a nivel microbiológico como los parámetros que en él intervienen, permite mejorar su eficiencia.

La biodegradación anaerobia se lleva a cabo dentro de tanques totalmente cerrados, denominados reactores debido a la reacción bioquímica de descomposición que se realiza en ellos. Actualmente el avance de estos reactores han dado lugar a tres generaciones, que se clasifican dependiendo de la forma en que los microorganismos se desarrollan dentro de estos.

- **1ra generación:** Fueron los primeros que se desarrollaron y corresponde a aquellos donde la biomasa se encuentra en suspensión, es decir, los microorganismos flotan sin estar fijos a ninguna superficie.
- **2da generación:** Las bacterias están adheridas en forma de biopelícula al soporte inerte que rellena al digestor, o bien, son

retenidas mediante sedimentación.

- **3ra generación:** La masa biológica está adherida al soporte que se expande o fluidifica con altas velocidades de flujo.

#### **a. Reactores de primera generación.**

El primer tanque fue diseñado para retener, separar y tratar sólidos sedimentables del agua residual, llevaba el nombre de eliminador automático Mouras, inventado por Luis H. Mouras de Vesoul, Francia. Estos procesos de tratamiento son los más primitivos (1850), utilizados para la producción de biogás a partir de desechos agrícolas y ganaderos, algunos de ellos son: fosa séptica, tanque Imhoff, lagunas anaerobias, digestores de tipo rural entre otros.

**a.1. Fosa Séptica:** Donald Cameron construyó el primer tanque séptico en la ciudad de Exeter, Inglaterra (1895), al saber de la producción de gas combustible a partir de la licuación de sólidos suspendidos, el cual utilizó para alumbrar los alrededores de una planta. Se considera como un digestor convencional a escala reducida, su principal función se limita a la hidrólisis de la materia orgánica en suspensión donde las condiciones anaerobias estrictas no se cumplen, por lo que es necesario que la fosa evacue a un sistema de zanjas de absorción colocadas en el suelo, para realizar la estabilización de los compuestos orgánicos y lograr una buena eficiencia que se lleva a cabo aproximadamente en 2 a 10 días.

Presentan ciertas desventajas, pues en la unidad de digestión la septicidad no se puede confinar únicamente al lado biológico, por tanto el efluente es privado de su frescura; en la unidad de sedimentación los sólidos son levantados por el gas formando una nata o costra desagradable, donde la digestión es lenta y rara vez completa. Debido a esto, su uso se ha limitado a tratar aguas negras de casas, escuelas y hospitales en zonas rurales donde no existe el servicio de drenaje.

**a.2. Tanque Imhoff:** En Hampton, Inglaterra (1904), se incorporó la sedimentación y tratamiento del fango en un mismo tanque llamado de doble acción. En el mismo año el Dr. Kart Imhoff patentó en Alemania un tanque de doble acción hoy conocido como tanque Imhoff. Después se realizaron experimentos en una instalación semejante, llamado tanque biolítico (E.U.A., 1909 - 1912) conocido también con el nombre de tanque hidrolítico de Travis, el cual funcionó hasta 1936. El proceso es similar al de fosa séptica aunque más elaborado, cuyo objetivo principal es la eliminación de los sólidos sedimentables. Es aplicado a pequeñas comunidades donde la fosa séptica no es recomendable por el volumen que requeriría.

Cuenta con dos compartimientos sobrepuestos, uno de sedimentación sobre otro de digestión, este arreglo evita de cierto modo que los productos de la hidrólisis de lodos sean evacuados con el efluente, mejorando así la eficiencia del tratamiento. En la parte inferior de la cámara de sedimentación existe una abertura que comunica ambos compartimientos, la cual permite que los sólidos pasen a través de ella, impidiendo el paso de los gases generados en la digestión. Las partículas de lodo ascienden por boyancia desde la capa de fango depositada en el fondo de la cámara de digestión debido a la presencia de gases, donde éstos escapan a través del sistema de venteo.

Sin embargo, la baja eficiencia de remoción de la fosa séptica y el tanque Imhoff, se atribuyó a una falla fundamental: poco o ningún contacto entre la masa bacteriana y el material no sedimentable del influente, por esa razón, mucho del material hidrolizado no pudo ser metabolizado y acabó siendo descargado del sistema.

**a.3. Lagunas anaerobias:** Consiste en estanques profundos de hasta 10 m., contruidos de forma rectangular enterrados o sobre la superficie, son mucho más grandes que un tanque séptico y normalmente no están

cubiertos. Las condiciones anaerobias prevalecen con excepción de una pequeña zona en la superficie, teniéndose lodo en el fondo de la laguna.

Son procesos relativamente económicos y también recomendables para aguas de desecho industrial, normalmente evacuadas a temperaturas superiores a la del medio ambiente, con alto contenido de sólidos suspendidos sedimentables o cantidades significativas de aceite y grasas, siendo preliminares en lagunas de estabilización en serie.

Manejan baja carga orgánica ( $< 1$  o  $2 \text{ Kg DQO/m}^3 \text{ d}$ ). El tiempo de retención en lagunas anaerobias es más largo (2 a 5 días), por tanto la eficiencia de remoción de DBO es más elevada. Su desventaja es que genera malos olores y su eficiencia baja en tiempo de invierno por las condiciones meteorológicas prevalecientes.

**a.4. Digestor anaerobio convencional:** Es aplicado principalmente para la estabilización de lodos de desecho provenientes del proceso “lodos activados”. Consiste en un tanque cerrado sin agitación, donde el lodo por tratar se estratifica en zonas definidas. La totalidad de la actividad microbiana representa alrededor de 30% del volumen total del digestor generando que este sea considerable, además de la lentitud de degradación origina que la eficiencia disminuya, por lo que son sustituidos por la versión completamente mezclada. El reactor proporciona un tiempo de retención hidráulico (TRH) mínimo alrededor de los 10 días, a una temperatura de  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ , sin embargo, dependiendo del agua a tratar abarca un rango de 10 – 30 días.

**a.5. Digestor anaerobio completamente mezclado:** Aplicado principalmente al tratamiento de lodos residuales de grandes plantas de lodos activados. Para que la reacción se lleve a cabo el medio se calienta y agita vigorosamente, con un agitador mecánico o por inyección del biogás en el fondo del reactor, permitiendo mayores eficiencias en la remoción de materia orgánica.

Cuando se tienen grandes volúmenes del reactor existen dificultades en el mezclado, por tal motivo se debe mantener una agitación adecuada para evitar que se acumule material orgánico, sin embargo, esto provoca que el efluente contenga una alta concentración de sólidos suspendidos, por lo que se une a un digestor convencional, para lograr la decantación de los sólidos. También se requiere colocar equipo especial, como desgasificadores o enfriadores, que permita la separación del gas producido sin complicar la separación de los sólidos del agua.

**a.6. Digestor de contacto:** Sistema de transición entre la primera y la segunda generación de reactores anaerobios. Consiste en un reactor de mezcla completa normalmente cilíndrico y de gran tamaño acoplado a un decantador, cuyo objetivo principal es separar la biomasa para que sea recirculada. Los lodos que se encuentran en el decantador, tienden a flotar debido a las burbujas de gas atrapadas en el flóculo, que se eliminan creando un vacío en la unión del reactor y el decantador, favoreciendo a la desgasificación.

La recirculación permite aumentar la cantidad de microorganismos en el digestor, al igual que su tiempo de permanencia dentro del sistema, sin que el tiempo de retención hidráulica se incremente. Generalmente la recirculación es del 80% al 100%, operando cargas más altas que los sistemas sin recirculación, lo que permite producciones más altas de biogás.

#### **b. Reactores de segunda generación.**

Los reactores anaerobios de segunda generación o avanzadas, son llamados también Reactores Anaerobios de Flujos Ascendente (RAFA), de alta tasa o NO CONVENCIONALES. Fueron desarrollados a inicios de los 70's por Gatzke Lettinga (Holanda), pero su aceptación generalizada se dio 10 años más tarde y en América Latina su aparición fue reciente.

Consiste en estaciones compactas, cuyo caudal influente ingresa por su sección inferior, recolectándose el agua tratada en su sección superior.

Las RAFAS, se basan en tres pilares fundamentales;

- 1) Retención de masa anaerobia con lento crecimiento sobre soportes dentro del reactor, mediante la sedimentación de flóculos microbianos con muy buenas características de decantación, adhesión a sólidos fijos o móviles y por recirculación, que lo distingue de los sistemas convencionales. Con esto se logró desligar el tiempo de residencia celular del tiempo hidráulico, permitiendo diseñar reactores con mucho menor volumen e incrementando parcialmente la estabilidad de la materia orgánica.
- 2) Mejor contacto entre biomasa y agua residual.
- 3) Mejor actividad de biomasa, por adaptación y crecimiento del sustrato.

Estos sistemas tienen un cierto grado de resistencia a productos tóxicos, una adaptación rápida a cambios de sustrato y un arranque rápido después de periodos prolongados sin alimentación. Lo anterior, constituyó un salto tecnológico que superó los procesos anaerobios tradicionalmente utilizados.

**b.1. Reactor anaerobio con lecho de lodos UASB (Upflow anaerobic sludge blanket):** Desarrollado por el Dr. Gatzke Lettinga (1970) en la universidad de Wageningen (Holanda), inspirado en las publicaciones del Dr. Perry McCarty de Standford, E.U.A. Consiste en un tanque de sección normalmente rectangular, cuyo caudal influente es distribuido en la sección inferior, mediante un sistema de tuberías evitando así la utilización de la mezcla mecánica, y en la parte superior del mismo cuenta con un sistema de separación de fases gas – sólido – líquido. El corazón biológico del proceso es el manto de lodos, donde se lleva a cabo la transformación bioquímica de la materia orgánica contaminante,

aglomerándola en gránulos o “pelotillas” con una actividad metanogénica muy elevada, la biomasa desarrollada debe presentar buena sedimentabilidad para no ser evacuada del digestor.

El proceso requiere para un adecuado funcionamiento, de control de factores como: pH, ácidos grasos volátiles (AGV), crecimiento neto celular medido en términos de sólidos suspendidos volátiles (SSV), relación entre biomasa activa y capacidad de digestión biológica de la materia orgánica medida en términos de Actividad Metanogénica Específica (AME), sedimentabilidad del manto medido a través del Índice Volumétrico de Lodos (IVL), y concentraciones de lípidos ya que las grasas evitan el contacto entre fluido – gránulo.

Sus desventajas son: la mala distribución del influente puede provocar que ciertas zonas en la cama de lodos no sean alimentadas, desperdiciando su actividad biológica, debido a que una limitada cantidad de materia orgánica presente genera pequeñas cantidades de biogás, por tanto la agitación del lecho provocada por burbujas será reducida. Así también su lento arranque o puesta en marcha debido a una inadecuada inoculación, por lo que se requiere cantidades importantes de lodos maduros anaerobios procedentes de tanques sépticos, boñigas frescas, lagunas anaerobias, etc. La formación de espuma, acidificación y flotación del lodo, indicará la presencia de un mal arranque.

**b.2. Reactor EGSB (Cama de lodo granular extendida):** Variante del reactor UASB, generalmente alto y de diámetro pequeño, requiriendo así un área reducida. Un rasgo que lo distingue del proceso UASB, es la proporción más rápida de velocidad del flujo ascendente, permitiendo la expansión parcial (fluidización) de la cama de lodo granular, mejorando de esta manera el contacto entre agua residual-lodo así como la segregación de las partículas suspendidas inactivas de la cama de lodos, lo cual se consigue utilizando reactores altos, o incorporando en el efluente un

recicle (o ambos). Es apropiado para el tratamiento de agua residual de baja carga soluble, es decir, que contenga partículas suspendidas inertes o pobremente biodegradables, pero sin permitir que estas partículas aumenten en la cama de lodos.

**b.3. Reactores de lecho fijo:** Procesos equivalentes a filtros rociadores aerobios, sólo que estos se encuentran inundados de líquido, el agua residual es alimentada bajo condiciones variables, por lo que no se requiere de un mezclado mecánico. Generalmente, se alimentan mediante una columna de flujo vertical ya sea ascendente o descendente, donde el agua residual pasa a través del lecho empacado, poniéndose en contacto con los microorganismos adheridos al medio y con flóculos suspendidos hallados entre los espacios vacíos formando de esta manera una biopelícula. La distribución de líquido debe ser adecuada, para evitar la formación de canales preferenciales, produciendo tiempos de retención celular elevados y altas concentraciones de biomasa. Son apropiados para aguas con carga orgánica soluble o fácilmente hidrolizable y concentración de sólidos suspendidos baja, ya que éstos tienen efectos de acumulación.

Estos reactores operan con recirculación, siendo más resistentes a sobrecargas orgánicas o tóxicas, además que permite controlar el crecimiento de biomasa y una producción adecuada de gas que tiende a subir en forma de burbujas. Algunos inconvenientes de estos reactores son; riesgo de taponamiento, alto costo referente al material de soporte y arranque lento, aun cuando se tenga un inóculo adecuado.

**b.4. Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA):** Reactor de operación similar al proceso UASB, introducido por Young y McCarty (1969), las primeras instalaciones de filtros anaerobios se realizaron en Brasil en 1970, posteriormente en 1977 se construyeron nuevos filtros en EE.UU. y Canadá.

Consiste en un reactor de flujo ascendente, donde el agua residual es introducida generalmente por la parte inferior, el lodo biológico es retenido mediante un material de empaque que puede ser grava, arena, piedras de 3 a 5 cm de diámetro, sintéticos, etc., de esta manera el lecho de contacto biológico queda fijo (inmóvil) y completamente sumergido en el líquido a tratar, por tal motivo es importante que el material filtrante cuente idealmente con una alta porosidad, para aumentar la superficie de contacto con la materia orgánica a estabilizar.

El proceso (FAFA), requiere de un tratamiento primario que elimine material suspendido del agua, con miras a evitar tempranas obstrucciones del filtro y que ésta siga caminos preferenciales. Por lo que, el coeficiente de vacío del empaque deberá ser grande; con suficiente área específica, debido a la desordenada distribución del soporte; procurar la acumulación lenta pero constante de biomasa, para evitar una inadecuada purga de lodo. No se requiere de la incorporación de separadores de fases, ya que los sólidos suspendidos arrastrados por el biogás hacia la superficie son inmediatamente retenidos por el material filtrante.

**b.5. Reactor tubular de película fija:** El reactor tubular de flujo ascendente o descendente fue desarrollado por van Den Berg y Lentz (1979), con la finalidad de evitar la acumulación de lodo dentro del digestor mediante un material de soporte, dispuesto de tal forma que creen canales verticales. El material utilizado para el soporte consiste en tubos o placas de cerámica, P.V.C, poliéster, etc. Un ordenamiento del soporte genera un coeficiente de vacío importante, con buenas relaciones área/ volumen, y de ésta manera resistir altas cargas de materia orgánica.

**b.6. Reactores híbridos:** Combinación de dos procesos en un mismo tanque del reactor, desarrollado en Colombia y Brasil denominado "reactor híbrido". Consiste en una mezcla de las modalidades UASB +

FAFA, el reactor tiene forma rectangular y fondo plano, con relaciones volumétricas que oscilan entre el 30 y 60 % para el manto de lodos (UASB), y entre el 70 y 40% para el filtro anaerobio (FAFA), lo que permite que los microorganismos sean libres de acumularse en zonas con o sin empaque.

El reactor tipo EASA, consiste en un tanque de sección cuadrada en la parte superior, y pirámide truncada con pendientes de 45° en su sección inferior, parecido a un sedimentador Dortmund. La alimentación se efectúa por un tanque deflector central de sección cuadrada concéntrica, el cual desciende hasta el fondo del reactor obligando al líquido residual a ponerse en contacto con el lodo biológico ahí concentrado.

En la parte superior del reactor, se ha diseñado un fondo falso con viguetas prefabricadas, que permite la instalación de una capa de material poroso (escoria volcánica) que actúe bajo el concepto de un FAFA, con la diferencia que su tamaño es menor a un diseño FAFA convencional. La relación volumétrica se basa en un 60% para el proceso de manto de lodos UABS y un 40 % al filtro anaerobio FAFA, respecto al volumen total del tanque sin contar el tanque de carga.

### **c. Reactores de tercera generación.**

Son también reactores de película fija, pero el soporte es lo suficientemente pequeño y ligero para poder ser fluidificado con una recirculación del efluente; se encuentran básicamente aún en nivel piloto o semi – industrial, aunque ya existen algunas plantas a escala real. Generalmente utilizan un medio de empaque de bajo diámetro y densidad elevada como el carbón activado, arena, grava o bolsas de vidrio, para que las bacterias se adhieran inmovilizándolas para el desarrollo de los microorganismos conformando una biopelícula, la cual depende de la regeneración, tamaño y densidad del medio en combinación con la velocidad vertical. Pueden tratar altas cargas orgánicas, pero presentan

algunos problemas en la distribución de flujo y requieren un alto consumo energético debido a la utilización de controles hidráulicos o mecánicos para el biogás. Estos reactores se clasifican de la siguiente manera:

**c.1. Lecho expandido:** Utiliza medios inertes de 0.3 a 3 mm. de diámetro, cuya velocidad superficial del líquido alarga el medio de soporte entre un 20 a 40 %, haciéndolo más esponjoso y aumentando su porosidad. La expansión del lecho se controla mediante la velocidad vertical y el nivel de recirculación.

**c.2. Lecho fluidizado:** El medio de empaque es de 0.2 – 1 mm. de diámetro en el cual se adhiere la biomasa, el lecho es fluidizado por una alta velocidad vertical del líquido, produciendo una expansión del 40 al 100 %. El exceso de lodos se elimina en la parte superior, donde la biomasa tiende a concentrarse más. Su tiempo de retención hidráulica es muy corto y su arranque es lento además de difícil.

#### **1.4.2 Análisis comparativo de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.**

Con la finalidad de conocer qué tipo de sistema ofrece mayor número de beneficios, posibilidades factibles de construcción, mantenimiento y operación, a continuación se muestra un análisis comparativo de los procesos comúnmente utilizados en el tratamiento de agua residual Tabla 1.9, así como la comparación de las eficiencias (en términos de DQO) de remoción, en ciertos tiempos de retención hidráulico de algunos sistemas de tratamiento anaerobio.

**Tabla 1.9** Análisis comparativo de los procesos comúnmente utilizados en el tratamiento de aguas residuales.

	<b>Laguna Anaerobia</b>	<b>Tanque Séptico</b>	<b>Lodos Activados</b>	<b>UASB</b>
% Remoción	Buena	Mala	Muy buena	Buena
Sólidos Suspendidos	90	50	>95	85
Material orgánico	90	50	>98	85
Nutrientes	20	20	>95	20
Patógenos	99	90	>95	90
Costos	Buena	Mala	Mala	Muy buena
Construcción (\$/hab.)	25	100	50	15
Mantenimiento (\$/hab.)	2	5	5	2
Tamaño	Mala	Mala	Buena	Muy buena
Profundidad	1	2	4	5
Área (m <sup>2</sup> /hab.)	3	0.2	0.03	0.01
Tiempo de retención hidráulico	20 – 30 días	2 – 10 días	12 – 24 hrs.	4 – 8 hrs.
Volumen (m <sup>3</sup> /hab.)	3 – 4	----	75 – 150 lts.	25 – 50 lts.
Estabilidad	Buena	Buena	Mala	Buena
Simplicidad	Muy buena	Muy buena	Mala	Muy buena
Inconvenientes	Olor, insectos, mal aspecto al paisaje	Olor, mantenimiento, disposición del efluente	Lodo	Olor

**Fuente:** Diseño teórico de un reactor híbrido mediante sistemas no convencionales para el tratamiento de aguas residuales. Pérez Yadira, Villegas Omar.

A partir de las comparaciones anteriores se observa que en la tabla, los sistemas que ofrecen buenas eficiencias de remoción, son UASB (85%), lagunas anaerobias (90%) y lodos activados (>95%). Sin embargo, el proceso de lodos activados requiere de altos costos de construcción, operación complicada, el lodo de purga necesita tratamiento posterior,

además que no tiene estabilidad frente a interrupciones de energía eléctrica y de alimentación; el sistema de laguna anaerobia requiere de un área bastante mayor respecto a otros procesos, además de tener un tiempo de retención hidráulico muy largo. Al contrario el reactor UASB, ofrece una eficiencia aceptable, buena estabilidad, operación sencilla y costos de construcción/mantenimiento económicos.

### **1.4.3 Proceso bioquímico de la digestión anaerobia.**

La digestión anaerobia es un proceso bioquímico que se desarrolla en varias fases, donde la materia orgánica y/o inorgánica es degradada por la actividad bacteriana en ausencia de oxígeno molecular.

La población bacteriana es el factor fundamental en el proceso anaerobio, por tal motivo es importante conocer sus aspectos generales. Estos organismos tienen la capacidad de biodegradar totalmente los desechos naturales. Para que la descomposición de la materia orgánica se lleve a cabo, se requiere de la actividad de bacterias conformadas principalmente por dos grupos<sup>6</sup>:

**1. Bacterias formadoras de ácido**, que se subdividen en acidogénicas y acetogénicas.

**2. Bacterias formadoras de metano**, las cuales se dividen en metanogénicas hidrogenófilas y metanogénicas acetilclásticas.

Para que el proceso se realice de manera adecuada, los microorganismos que en él intervienen, deberán hallarse en estado de equilibrio dinámico, así también las condiciones propicias para el desarrollo de éstas, como carecer de oxígeno disuelto (<3 mg/l), libre de constituyentes inhibitorios (metales pesados, sulfuros y producción excesiva de bióxido de carbono, hidrógeno y otros gases), considerando que deberán ser compatibles con

---

<sup>6</sup> Ponce Abad Ana Paula, "Comportamiento de un reactor anaerobio de lecho fijo en el tratamiento de aguas residuales de una producción de bebidas carbonatadas". UNAM, México D.F. 2001.

la naturaleza de la materia orgánica, cargas hidráulicas y orgánicas. Esta población bacteriana utiliza el 10% de su energía obtenida del alimento o sustrato para funciones de reproducción, dando origen a nuevas células y generando así poco lodo; el 90% restante lo destinan a la producción de gas metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), mercaptano ( $\text{RSH}$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ).

Generalmente se puede considerar que el proceso anaerobio en su forma más elemental comprende de solo dos etapas: fermentación ácida y fermentación metanogénica. Aunque de acuerdo con Zehnder (1978) y Orozco (1989) éste ocurre en tres etapas básicas, que son:

- **Licuefacción:** Primeramente los componentes de alto peso molecular (proteínas y carbohidratos), son degradados en sustancias solubles de bajo peso molecular (aminoácidos y azúcares).
- **Fermentación ácida:** Seguidamente, los productos de la etapa anterior son convertidos en ácidos orgánicos menos grasos, que generan que baje el pH del sistema.
- **Fermentación metanogénica:** Finalmente, los ácidos orgánicos son convertidos en metano, dióxido de carbono y una pequeña cantidad de hidrógeno.

La digestión anaerobia comprende de tres etapas diferentes del proceso global de conversión, donde se involucra la unión de complejos microorganismos. Este proceso es esquematizado de la siguiente manera, proporcionando una mejor descripción de cada etapa.

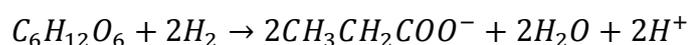
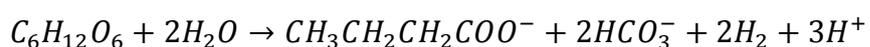
#### **a. Hidrólisis y Acidogénesis.**

Etapa conocida como licuefacción, donde se realiza la conversión enzimática de compuestos orgánicos insolubles como carbohidratos, proteínas y grasas (polímeros), a compuestos solubles más sencillos

como son azúcares, ácidos grasos, aminoácidos y glicerol (monómeros). Las bacterias que intervienen en la conversión son: formadoras de ácido y acidogénicas, las cuales tienen una función específica.

**Bacterias formadoras de ácido:** Hidrolizan los compuestos orgánicos complejos mediante el rompimiento molecular convirtiéndolos en compuestos suficientemente pequeños (AGV) para ser aprovechados posteriormente. Estos microorganismos pueden ser anaerobios estrictos o facultativos, vivir en ambientes de pH moderadamente ácidos o alcalinos (3.58 a 8.0), soportar temperaturas que van desde un medio cálido hasta condiciones de congelamiento, además de reproducirse en varios minutos, para un adecuado funcionamiento de éstos, se deberá eliminar el hidrógeno (H<sub>2</sub>) ya que inhibe su metabolismo.

**Bacterias Acidogénicas:** Absorben los compuestos solubles sencillos (glucosas, C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) generados por las bacterias formadoras de ácido, fermentándolos para producir compuestos minerales (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>), y sustancias orgánicas como ácidos grasos volátiles y alcoholes, tal como se muestra a continuación:



En las reacciones anteriores se observa la producción de hidrógeno durante la degradación, su concentración en el medio en caso de que fuera muy baja (5 a 50 p.p.m), indica la formación de ácido acético en cantidad suficiente para un buen proceso; en caso contrario, disminuye la formación de dicho ácido, aumentando los ácidos de cadenas mayores. Aunque el acetato (ácido acético) se realce prontamente, éste no resulta ser un factor limitante para el proceso.

Una desventaja de esta etapa, es el rompimiento molecular lento de compuestos orgánicos complejos a ácidos grasos, aun cuando los microorganismos que proveen las enzimas se desarrollen rápidamente; otro factor limitante, es la baja temperatura de operación debido a que la degradación de las grasas, prácticamente se realiza arriba de los 20°C, esto significa que la primera etapa podría limitar el rango de remoción de la materia orgánica. Por tal motivo, para lograr un grado de conversión máximo, se requieren tiempos de retención largos, carga orgánica baja, proveer una población de microorganismos grande, sustrato orgánico concentrado y temperatura uniforme dentro del reactor.

Esta fase se lleva a cabo satisfactoriamente a temperatura ambiente; no se obtiene una remoción significativa de DBO, debido a que sólo se requiere un pequeño consumo de materia orgánica para la transformación de las materias orgánicas complejas en otras más sencillas.

#### **b. Acetogénesis**

Los compuestos producidos durante la primera etapa son convertidos en ácidos orgánicos de cadena corta tales como acetato, alcoholes, hidrógeno y dióxido de carbono, que servirán de sustrato para la fase posterior. Las bacterias que llevan a cabo esta transformación, son las acetogénicas que pertenecen a las formadoras de ácido, pueden ser facultativas anaerobias cuya velocidad de crecimiento es elevada, aunque los microorganismos que oxidan butirato/propionato a hidrógeno/acetato, crecen muy lentamente por la presencia de las metanogénicas.

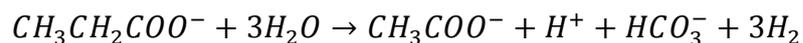
**Bacterias acetogénicas:** Llevan a cabo la bioxidación de compuestos producidos durante la primera etapa, siendo cruciales para una fermentación completa. Los principales microorganismos acetogénicos son:

- *Syntrophomonas wolfei*: Se reproduce en aproximadamente 3 días, cataboliza los ácidos grasos de bajo peso molecular como butirato para producir acetato e hidrógeno o formato.
- *Syntrophobacter wolfei*: Se genera en 7 días aproximadamente, oxida el propionato (producto intermedio) para producir ácido acético y CO<sub>2</sub>, además de hidrógeno o formato.

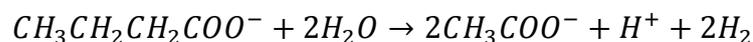
Las reacciones más comunes que llevan a cabo las bacterias acetogénicas se muestran a continuación:

### **Oxidación (Reacción donando electrones)**

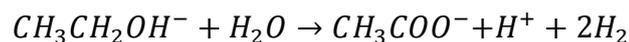
Propionato → Acetato



Butirato → Acetato



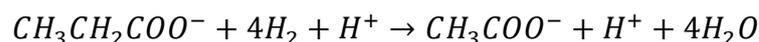
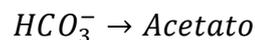
Etanol → Acetato



Lactato → Acetato



### **Respiración (Reacción aceptando electrones)**



Tal como se ve en las ecuaciones anteriores la formación de hidrógeno es inevitable, por lo tanto, para lograr un buen funcionamiento deberá ser eliminado, ya que se inhibe el metabolismo de las bacterias acetogénicas.

Esta etapa se realiza satisfactoriamente a temperatura ambiente. La conversión de las moléculas orgánicas complejas en ácidos orgánicos de cadena corta ejerce una demanda de oxígeno, sin embargo, no se produce una reducción importante de DBO.

### **c. Metanogénesis**

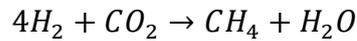
Se obtiene la estabilización completa del residuo y la reducción de anhídrido carbónico formado en fases anteriores, mediante la acción de bacterias metanogénicas las cuales son clave de la digestión anaerobia.

**Bacterias formadoras de metano:** Microorganismos estrictamente anaerobios conformados por especies distintas en forma y estructura celular, aprovechan los ácidos grasos volátiles, dióxido de carbono, alcoholes e hidrógeno formados por las bacterias acetogénicas reduciéndolas a metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), mercaptano ( $\text{RSH}$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ). Estas bacterias necesitan mayores cuidados que las formadoras de ácido, ya que sus condiciones requeridas son más restringidas: pH óptimo para su desarrollo (7 – 7.2); soportan condiciones de temperatura de 20 – 42 °C, aunque su ideal es 35 °C; se reproducen una vez en 3 o 5 días, su lento crecimiento constituye una de las bases más importantes en los procesos anaerobios en general, por tanto, el tiempo de residencia deberá ser el adecuado para que estos microorganismos no sean evacuados del sistema.

La formación de metano se lleva a cabo por dos grupos de bacterias, el primero produce metano a partir del hidrógeno y dióxido de carbono (hidrogenófilas), y el segundo convierte el acetato a metano y dióxido de carbono en solución, llamado bicarbonato (acetoclásticas).

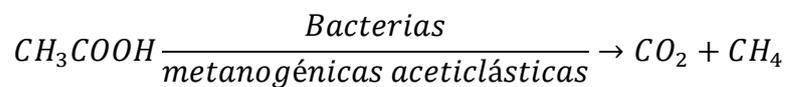
**Bacterias metanogénicas hidrogenófilas:** Estos microorganismos pueden ser adversamente afectados por la acumulación de hidrógeno, por lo cual es importante mantener su bajo nivel para que estos contribuyan

eficientemente a la conversión del sustrato. La reacción de la producción de metano, proporciona una doble ventaja, ya que elimina el hidrógeno gaseoso acumulado.

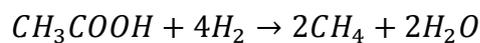


**Bacterias metanogénicas acetilclásticas:** Es la bacteria más común en reactores de agua residual; su tiempo de duplicación es lento (2 – 3 días) limitando la tasa de transformación del material orgánico complejo en biogás. Normalmente alteran el pH del medio, debido al ácido acético eliminado y producción de CO<sub>2</sub> disuelto en forma de solución amortiguadora de bicarbonato. Los principales exponentes de estas bacterias son la Methanosarcinna, Methanosaeta ( formadoras de Methanothrix), generadas por las altas cantidades de ácidos grasos.

La bacteria metanogénica acetilclástica, utiliza el acetato para convertirlo a dióxido de carbono y metano, mediante la siguiente reacción global:



Tomando las consideraciones termodinámicas y datos experimentales de Zeikus (1975), que propuso el seguimiento de la conversión de una manera más sencilla:



Existen diferentes mecanismos para la formación del metano (Tabla 1.10)

**Tabla 1.10** Mecanismos típicos de formación de metano.

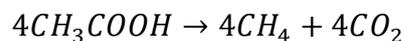
<p>1. Descomposición del Ácido Acético</p> $CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2 \text{ y posteriormente}$ $CO_2 + 8H \rightarrow CH_4 + 2H_2O$
<p>2. Reducción de CO<sub>2</sub></p>

$CO_2 + 4H_2 \xrightarrow[\text{Reductoras de } CO_2]{\text{Metanogénicas}} CH_4 + 2H_2O$
<p>3. Descomposición del Metanol</p> $4CH_3OH \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$
<p>4. Descomposición de Metilaminas</p> $4(CH_3)_3N + H_2O \rightarrow 9CH_4 + 3CO_2 + 6H_2O + 4NH_3$

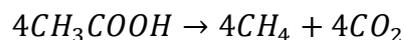
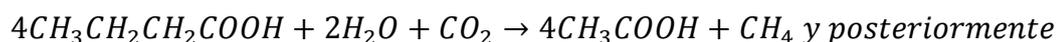
**Fuente:** Ramalho Sette Rubens. ,“Introduction to wastewater treatment process”, 2da edición Ed. Reverté S.A. Barcelona, España, 1993, 667 pp.

Observando la tabla anterior, se nota que estas bacterias utilizan el ácido acético como sustrato principal, aunque casi todos los ácidos volátiles pueden ser usados para la producción de metano, como se muestra a continuación:

Transformación del ácido propiónico:



Transformación del ácido butírico:

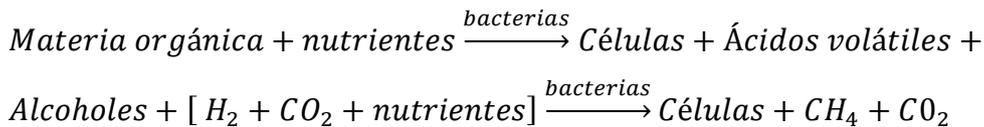


En general, el biogás obtenido contiene del 65 al 70% de CH<sub>4</sub>, del 25 al 30% de CO<sub>2</sub> y el porcentaje restante son pequeñas cantidades de N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> y otros gases.

Para obtener una fermentación metanogénica eficaz, se debe controlar la velocidad ascensional del agua residual. Finalmente, la remoción biológica de DBO ocurre en ésta etapa, ya que la materia orgánica estabilizada es poco soluble en el agua y se evapora con el gas que sale

del reactor. El CO<sub>2</sub> también escapa como gas o es convertido en alcalinidad bicarbonácea.

Con una visión generalizada, el proceso anaerobio incluyendo el crecimiento, se resume en las siguientes ecuaciones verbales:



#### 1.4.4 Factores que influyen en el proceso de digestión anaerobia

Para lograr una biodegradación eficiente, es necesario que los microorganismos se encuentren en un ambiente propicio, cumplir con requerimientos nutricionales para el desarrollo de los mismos, sin la presencia de materias tóxicas que inhiban su crecimiento, por lo que deben mantenerse rangos definidos de pH y temperatura, principalmente por las necesidades de las bacterias formadoras de metano que son los organismos más sensibles del proceso. La elección de las condiciones ambientales que se debe mantener en el interior del digestor, se realiza en función de los conocimientos básicos sobre la microbiología, cinética y energía del proceso, para obtener una eficiencia óptima de la digestión anaerobia, por tal motivo es de gran importancia conocer los valores de estos factores, que contribuyen a un mejor desarrollo de los microorganismos que se encargan de la descomposición de la materia orgánica:

**a. Temperatura:** Para van Haandel y Lettinga (1994), la temperatura es el factor ambiental más importante en el tratamiento de las aguas residuales, los rangos requeridos para cada tipo de digestión varía según diferentes autores Tabla 1.11, por lo que se consideró valores promedios de estos, donde se tienen definidos tres tipos de digestión para el proceso anaerobio:

**Tabla 1.11** Tipos de digestión según la temperatura de operación.

<b>Tipo de digestión</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Fría o psicrófila	(0 – 20 °C)
Mesófila	(20 – 42°C)
Termófila	(40 – 75 °C)

**Fuente:** El autor

Sin embargo, existen rangos óptimos para la producción de metano, comprendidos entre 30 a 40 °C (rango mesófilico), 50 a 60 °C (rango termófilico) y en el rango psicrófilico la temperatura es por debajo de 15 – 20 °C.

Generalmente para el tratamiento anaerobio de una agua residual normal, la digestión termófila podría consumir demasiada energía para el calentamiento y la psicrófila podría consumir mucho espacio por los tiempos de retención hidráulicos muy elevados<sup>7</sup>.

Por lo tanto, se ha comprobado que la temperatura para una actividad biológica óptima en el proceso anaerobio es la mesófila, donde se puede obtener el valor cinético máximo.

Las bacterias que intervienen en este tipo de digestión son denominadas mesófilas, las cuales son tolerantes a los cambios de temperatura, aunque cuando son mayores de 42 °C, puede causarles daños muy severos, inhibiendo su crecimiento o eliminándolas definitivamente.

Un aspecto importante, es el decaimiento de la bacteria a temperaturas menores a 15 °C, por tal motivo la velocidad de decaimiento empieza a exceder la velocidad de crecimiento, esto significa que el lodo anaerobio puede ser preservado por largos períodos de tiempo sin que pierda

---

<sup>7</sup> Mejia Mendoza Jorge Humberto, “Diseño, Construcción de un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales”, FCyT – UMMS, Cochabamba - Bolivia, 1999.

mucho su actividad, haciendo que el tratamiento anaerobio se a atractivo para aguas residuales que se descargan discontinuamente.

**b. pH:** Es el parámetro de control de mayor influencia sobre el sistema microbiológico, ya que los grupos bacterianos dependiendo de su tipo, tienen diferentes pHs óptimos para su reproducción y desarrollo. Para una buena estabilización de la materia orgánica, es necesario tener un rango de pH favorable tanto para las bacterias acidogénicas como para las metanogénicas, ya que ambas conforman una simbiosis, procurando un equilibrio dinámico. Las bacterias acidogénicas, formadoras de ácido butírico y propiónico, son relativamente fuertes y pueden tolerar grandes rangos de pH, sin embargo, si el control de pH no es adecuado, la producción de ácido puede ser alta siendo desfavorable para la formación de metano. Las bacterias acidogénicas tienen un pH óptimo de 5.0 - 6.5, y las bacterias metanogénicas de 6 – 8, sin embargo se sabe que todas las bacterias trabajan bien en un intervalo de pH cercano al neutro, aunque su óptimo está entre 7 y 7.2<sup>8</sup>.

**c. Nutrientes:** En el tratamiento biológico anaerobio de aguas residuales, los nutrientes permiten un adecuado funcionamiento fisiológico de los microorganismos ayudando a generar nuevo material celular, de no ser así serían lavados fuera del sistema. Por esta razón, el influente debe contener un número de compuestos a partir de los cuales la bacteria pueda sintetizar sus constituyentes celulares, entre estos elementos se encuentra el nitrógeno y fósforo denominados macronutrientes, debido a las cantidades requeridas relativamente altas, ésta proporción de nutrientes requeridos es cinco veces menor a la de un proceso aerobio.

---

<sup>8</sup> Ponce Abad Ana Paula, "Comportamiento de un reactor anaerobio de lecho fijo en el tratamiento de aguas residuales de una producción de bebidas carbonatadas". UNAM, México D.F. 2001.

Las bacterias anaerobias también necesitan de elementos metálicos como son el hierro, níquel, cobalto, molibdeno, tungsteno, selenio, entre otros, requeridos en pequeñas cantidades, por lo que muchos de ellos se pueden encontrar dentro de la misma agua residual, dependiendo de su procedencia y se les denomina micronutrientes, los cuales son indispensables para la actividad enzimática en los diversos procesos metabólicos de los microorganismos, ya que una deficiencia de alguno provocará una reducción gradual de la eficiencia del sistema, que se notará a largo plazo y tardará algún tiempo en reponerse.

Para determinar si el agua residual necesita de la dosificación de nutrientes, se lleva a cabo el análisis de DQO, nitrógeno y fósforo (DQO:N:P), que normalmente deben encontrarse cercanos a 500:5:1. Si a la salida del efluente se tienen concentraciones de 10 a 15 mg/l de ortofosfatos, entonces se cuenta con una proporción suficiente de nutrientes para su buen funcionamiento. De no cumplirse con la concentración adecuada, se deberá agregar la cantidad faltante con algún compuesto químico.

**d. Ácidos grasos volátiles (AGV):** Son un indicativo del grado de acidificación en el agua, si se presentara una acumulación de éstos generaría problemas dentro del sistema, ya que las bacterias que forman metano presentan dificultades para degradar los productos generados por las formadoras de ácido. Por tal motivo para neutralizar una eventual acumulación de ácidos grasos volátiles y anhídrido carbónico, es necesaria una suficiente capacidad buffer del medio y generar una mezcla adecuada dentro del reactor, para evitar de esta manera zonas ácidas.

En los proceso anaerobios se puede emplear una amplia gama de concentraciones de ácidos volátiles, menores a 100 mg/l y sin rebasar los 5000 mg/l. Sin embargo para una operación eficiente y estable en el proceso se requieren que las concentraciones de AGV en el efluente sean

menores a 5 mg/l, aunque durante el período de arranque se puede manejar un límite máximo permisible de 10 mg/l, asegurando que el sistema se encuentre en buenas condiciones y no se presenten inhibiciones por toxicidad.

**e. Alcalinidad:** Es la capacidad amortiguadora de pH en un sistema, para evitar cambios ácidos repentinos, propiciando una buena biotransformación en el proceso anaerobio.

Entre más alta sea la alcalinidad dentro del sistema, mayor será su capacidad de resistir los cambios de pH, evitando efectos negativos tales como acidificación y formación de espumas, que perjudican la fermentación anaerobia. Para asegurar que el sistema opere sanamente sin picos de pH, se requiere una concentración mínima de 20 mg/l de alcalinidad.

**f. Toxicidad:** Para un adecuado metabolismo de los microorganismos dentro del proceso anaerobio, se requiere que el sistema carezca de oxígeno disuelto (menor a 3 mg/l), concentraciones excesivas de algunos compuestos como son:  $H_2S$ ,  $NH_4^+$ ,  $NH_3$ , AGV, metales pesados y sulfuros. Éstos compuestos son tóxicos para las bacterias anaerobias, de no tener un control del medio ambiente del reactor pueden ser inhibitorios para el sistema llevándolo al fracaso, sin embargo en concentraciones bajas, muchos de estos compuestos naturales pueden estimular el metabolismo de las bacterias.

Por tal motivo, para mantener una actividad máxima de los microorganismos así como el medio propicio para su desarrollo, no sólo es importante controlar los factores ambientales, sino también considerar la homogenización del sistema y un tiempo de retención hidráulico que permita obtener una excelente eficiencia del proceso.

**g. Homogenización:** Si se consigue un desarrollo uniforme de las diferentes poblaciones bacterianas, así como el mantenimiento del pH en el digestor.

**h. Tiempo de retención hidráulico (TRH):** Parámetro que permite controlar el caudal del efluente tratado, cuando la alimentación del sustrato es mayor a la degradación se acumula productos intermedios, por lo tanto es conveniente disminuir el tiempo de retención hidráulico.

## CAPÍTULO II

### DISEÑO DE LA PLANTA DEPURADORA UASB

#### 2.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN.

El diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales y selección del tipo de tratamiento que se aplican en plantas depuradoras requiere el análisis de diferentes alternativas y escenarios bajo la consideración de los siguientes aspectos:

- Cumplir las leyes ambientales y reglamentos locales.
- Reducción de los costos de construcción, operación y mantenimiento.
- Simplificar el proceso de tratamiento y operación.
- Reducción del requerimiento del espacio necesario para su implantación.
- Garantizar un eficiente tratamiento de las aguas.
- Bajo porcentaje de equipos sofisticados y de continua remoción.

Tras un análisis comparativo realizado en el Capítulo I sobre los diferentes tipos de tratamientos de aguas residuales, se llegó a la conclusión de que la tecnología anaerobia muestra los más bajos costos de operación e implementación. En la figura 2.1 se muestran digestores anaeróbicos.



**Figura 2.1:** Plantas pilotos construidas en Brasil.

## 2.2 ESQUEMA DE DEPURACIÓN QUE SE APLICA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS.

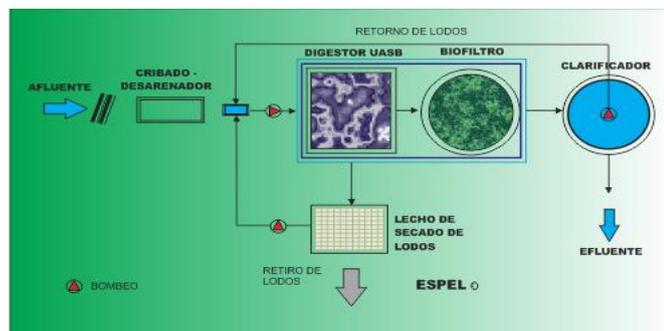
En base a los requerimientos expuestos y aspectos técnicos considerados se dimensiona un sistema de tratamiento de aguas residuales compuesto de 6 líneas detalladas a continuación:

**Tabla 2.1:** Etapas de tratamiento de aguas residuales.

ETAPAS DE TRATAMIENTO		
ELEMENTO DE DEPURACIÓN	ETAPA	FUNCIÓN
Cribado	Mecánica	Retención de elementos y sustancias gruesas extrañas basuras, plásticos, escombros
Desarenador	Mecánica	Retención de arenas que son conducidas al sistema de alcantarillado a través de los desagües y tragantes
Digestor UASB	Biológica	Descontaminante de componentes biológicamente degradables.
Biofiltro	Biológica	Descontaminante de componentes orgánicos.
Clarificador	Mecánica	Sedimentación.
Lecho de secados	Mecánica	Deshidratación de los lodos del digestor UASB.

**Fuente:** Dimensionamiento de plantas depuradoras UASB. Dipl. Ing. Gabriel Moncayo Romero. 2011

En la figura 2.2 se muestra la línea de tratamiento. En el anexo B1 se muestra el esquema de flujo de la planta depuradora UASB.



**Figura 2.2:** Esquema de planta compacta – Línea de tratamiento

## 2.3 PARÁMETROS DE DISEÑO.

### 2.3.1 Generalidades.

El nuevo campus de la Escuela Politécnica del Ejército extensión Latacunga ubicado en la parroquia Belisario Quevedo que se encuentra en construcción, necesita de un sistema para el tratamiento de aguas residuales que determine mínimas condiciones de riesgo ambiental para los sectores aleñados al área destinada para el tratamiento en cuestión, y que garantice la protección del área destinada para su descarga final. El sistema de tratamiento seleccionado es una planta depuradora UASB.

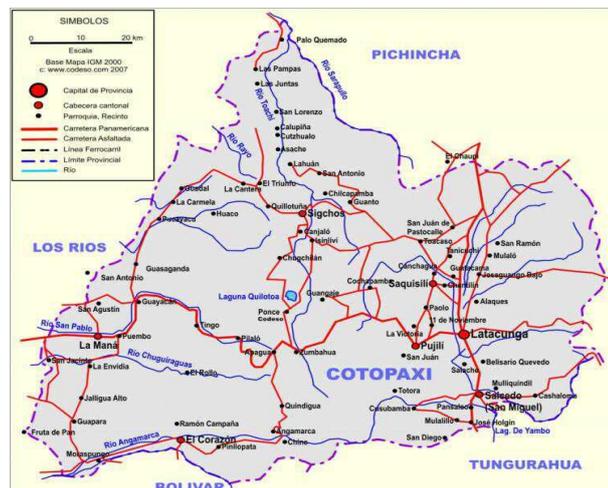


Figura 2.3: Provincia de Cotopaxi.

### 2.3.2 Localización de la zona del proyecto.

La parroquia rural de Belisario Quevedo pertenece al cantón Latacunga de la provincia de Cotopaxi. Se ubica en el sur-oeste del cantón Latacunga. Para llegar a la parroquia se toma la vía panamericana Latacunga - Salcedo de norte a sur hasta el kilómetro 5 a unos 15 minutos de la ciudad y cuenta con un acceso principal a uno de sus barrios llamado Illuchi (ver Anexo B2).

## **2.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

### **2.4.1 Obtención de datos.**

Para el presente estudio el departamento de mantenimiento y construcciones de la ESPEL facilitó los datos necesarios para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.<sup>9</sup>

Los datos principales para el diseño se detallan a continuación:

Temperatura mínima del agua: 10°C

Población de diseño: 6000 personas.

Carga máxima de DQO: 1000 mg/l

Carga orgánica considerada de DBO<sub>5</sub> (Demanda bioquímica de oxígeno) = 25g/persona x día.

Carga de DBO<sub>5</sub> a la entrada del sistema. Ci= 510 mg/l

Carga de DBO<sub>5</sub> a la salida del sistema. Ce=20 mg/l Asumida.

Caudal medio de aguas residuales equivalente al 70% del consumo del agua potable:

Qm=294 m<sup>3</sup>/día.

### **2.4.2 CRIBADO/DESARENADOR**

El dimensionamiento y diseño de las estructuras comienza con el canal de aproximación hasta la planta depuradora. En el canal de aproximación comprende también la estructura de cribado y desarenado.

El cribado es un proceso mecánico que separa los materiales de acuerdo a su tamaño de partícula individual.

---

<sup>9</sup> Estudios y diseños para el tratamiento de aguas servidas mediante el sistema de filtros verdes para el campus politécnico ESPE Latacunga. Ramiro Castro Franco, Gina Loor.

El desarenador tiene por objeto separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión con el fin de evitar que se produzcan depósitos en las obras de conducción, proteger las bombas de la abrasión y evitar sobrecargas en los bioreactores. El desarenado se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0.2 mm.

Los criterios que se aplican para el cálculo de la longitud del desarenador son los siguientes<sup>10</sup>:

- El número de unidades mínimas en paralelo es 2 para efectos de mantenimiento. En caso de caudales pequeños y turbiedades bajas se podría contar con una sola unidad que puede contar con un canal de by-pass para efectos de mantenimiento.
- El periodo de operación es de 24 horas por día.
- Debe existir una transición en la unión del canal o tubería de llegada al desarenador para asegurar la uniformidad de la velocidad en la zona de entrada.
- La sedimentación de arena fina ( $d < 0.01 \text{ cm.}$ ) se efectúa en forma más eficiente en régimen laminar con valores de números de Reynolds menores de 1 ( $Re < 1.0$ ).
- La sedimentación de arena gruesa se efectúa en régimen de transición con valores de Reynolds entre 1.0 y 1000.
- La sedimentación de grava se efectúa en régimen turbulento con valores de número de Reynolds mayores de 1000.

Se diseñó la parte de cribado y desarenado de acuerdo a las necesidades de la ESPEL y utilizando todos los criterios mencionados anteriormente. En base al dimensionamiento de estructuras de cribado/desarenado

---

<sup>10</sup> Dimensionamiento de plantas depuradoras. Dipl. Ing. Gabriel Moncayo Romero. 2011

realizados en plantas pilotos en Brasil<sup>11</sup> se presenta el diseño completo en el Anexo B3.

### 2.4.3 Tiempo de retención hidráulico.

El tiempo de retención hidráulica (TRH) de la materia orgánica y consecuentemente el volumen requerido del digestor se determina en base a la temperatura del medio ambiente, de las aguas residuales y al tipo de las aguas residuales. La selección de un TRH adecuado es muy importante ya que influencia directamente en los costos de construcción de los reactores. En el cuadro siguiente se exponen los TRH recomendados en base a la temperatura de las aguas residuales.

**Tabla 2.2:** Tiempo de retención hidráulica en reactores UASB

<b>Tiempos de retención hidráulica en reactores UASB</b>		
<b>Temperatura agua residual °C</b>	<b>Tiempo de retención hidráulica h.</b>	
	<b>Media diaria</b>	<b>Mínimo (durante 4 horas)</b>
16-19	>10-14	>7-9
20-26	>6-9	>4-6
>26	>6	>4

**Fuente:** Manual plantas UASB Aqualimpia (2011)

Observaciones experimentales y prácticas de reactores operando en clima tropical y templado indican que un TRH de 8 horas es suficiente para obtener una alta eficiencia de remoción, en muchos casos se observan buenas eficiencias a TRH menores. Para temperaturas más bajas como en este caso en particular (10 a 18°C), el tiempo de retención o de permanencia debe ser aumentado de 12 a 14h. (Van Haandel, 1994). El tiempo de retención hidráulica seleccionado es 12 horas.

<sup>11</sup> Principio de tratamiento biológico de aguas residuales. Reactores Anaeróbicos. Carlos Augusto de Lemos.

#### **2.4.4 Geometría y Volumen del reactor.**

Los reactores pueden tener forma cilíndrica o rectangular. En el caso de requerir varios reactores es recomendable que se construyan tanques rectangulares con paredes comunes, es decir varios tanques en una sola unidad.

Establecido el TRH, el volumen del reactor se calcula en base a la siguiente ecuación. (van Haandel y Lettinga, 1994).

$$V_R = Q \times TRH$$

Donde  $V_R$  = Volumen del reactor en  $m^3$

$Q$  = Caudal medio del afluente en  $m^3/h$ .

TRH = Tiempo de retención hidráulica.

Entonces aplicado a los datos iniciales:

$$V_R = \frac{294m^3}{24h} \times 12h = 147m^3$$

La forma del reactor es rectangular. En el Anexo B4 y B5 se presenta el diseño completo.

#### **2.4.5 Altura del reactor**

La altura del reactor UASB está principalmente determinada por la velocidad superficial máxima admisible aplicable y se determina principalmente por razones económicas. El costo de excavación aumenta en la medida que la altura del reactor es mayor, sin embargo la demanda de área disminuye cuando el reactor es más profundo. El óptimo económico depende del precio de la tierra y del tipo de suelos, generalmente se sitúa entre 4 y 6 metros (van Haandel y Lettinga, 1994)

La altura del reactor tiene implicaciones sobre la eficiencia de la remoción de la masa orgánica. En primer lugar la altura determina la velocidad de ascenso de la fase líquida del reactor, esta velocidad no debe ser alta para evitar pérdidas de lodo por arrastre de las partículas sólidas y evitar turbulencia en la zona de entrada del afluente.

Debido a las razones mencionadas anteriormente y teniendo en cuenta el volumen final del digestor se escogió para este caso una altura de 5.2 m.

#### 2.4.6 Carga orgánica volumétrica.

La carga orgánica volumétrica (COV en KgDQO/m<sup>3</sup>.d) se define como la carga de DQO en kilogramos que se aplica al digestor de flujo ascendente por unidad de volumen m<sup>3</sup> de digestor y por día.

$$COV = \frac{Q \times C}{V_R}$$

En donde:

COV=Carga orgánica volumétrica (KgDQO/m<sup>3</sup>.d)

C=Concentración de contaminantes DQO en afluente (KgDQO/m<sup>3</sup>)

La concentración de DQO para el siguiente diseño es de 1KgDQO/m<sup>3</sup>. Para aguas residuales domésticas se recomienda un COV en el orden de 2,5 (KgDQO/m<sup>3</sup>.d).<sup>12</sup>

$$COV = \frac{294 \frac{m^3}{d} \times 1 \frac{Kg DQO}{m^3}}{147 m^3}$$

$$COV = 2 Kg DQO / m^3 \cdot d$$

De acuerdo con este resultado, la carga orgánica volumétrica se encuentra dentro de los rangos permisibles.

---

<sup>12</sup> Dimensionamiento de plantas depuradoras. Dipl. Ing. Gabriel Moncayo Romero. 2011.

#### 2.4.7 Cálculo estimado de la producción de biogás.

Pruebas en laboratorio han demostrado que 1Kg de DQO produce hasta 0.35 m<sup>3</sup> de gas metano<sup>13</sup>. Para el cálculo de la producción de biogás se asume que 1Kg de DQO produce 0.35 m<sup>3</sup> de biogás con un contenido de gas metano del 65%. De esta manera el cálculo es más seguro y conservador.

Carga orgánica de DQO (KgDQO/día):

La planta de tratamiento de aguas residuales está diseñada para un DQO máximo de 1Kg/m<sup>3</sup> (1000 mg/l) y un caudal medio de 294m<sup>3</sup>/día. Por tanto:

$$1 \frac{Kg}{m^3} \times 294 \frac{m^3}{día} = \frac{294KgDQO}{día}$$

Carga orgánica: 294KgDQO/día

Porcentaje de degradación: 65%

*Producción biogás = Carga orgánica x Porcentaje de degradación x 0.35*

$$Producción\ biogás = (294 * 0.65 * 0.35) m^3 / día$$

$$Producción\ de\ biogás = 66.89 m^3 / día$$

#### 2.4.8 Sistema de alimentación y distribución de afluente.

La distribución de caudales de ingreso al fondo del reactor se efectúa de forma tal que el agua residual sea distribuida en cada uno de los tubos difusores en proporciones iguales. La distribución en el fondo del reactor será efectuada a través de tubos difusores con alimentación regular de

---

<sup>13</sup> Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y Plantas de biogás. Dipl. Ing. Sanitario Ambiental – Ing. Civil Gabriel Moncayo Romero, 2012.

flujo, evitando zonas muertas. Se recomienda 1 difusor para cada 2 a 4 m<sup>2</sup> de la superficie de digestor. La velocidad descendente del agua en los tubos difusores no debe ser superior a 0,2 m/s. Se recomienda que los tubos tengan diámetros de 75 a 150 mm.

El número de tuberías de distribución se determina en función del área transversal del digestor y el área de distribución adoptada para cada tubería. Está dada por la siguiente ecuación:

$$N = \frac{A}{A_d}$$

En donde:

N=Número de tuberías de distribución

A=Área transversal del digestor (m)

Ad=Área de influencia de cada tubería de distribución (m<sup>2</sup>)

En la tabla 2.3 se exponen recomendaciones para el área de influencia en base a la carga orgánica aplica.

**Tabla 2.3:** Áreas recomendadas para tuberías de distribución.

<b>Áreas recomendadas para tuberías de distribución</b>		
<b>Tipos de lodos</b>	<b>Carga orgánica aplicada (KgDQO/m3.d)</b>	<b>Área Ad (m2)</b>
Denso y flocculento	<1,0	0,5-1,0
	1,0-2,0	1,0-2,0
	>2,0	2,0-3,0
Denso a flocculento (concentración 20-40KgSST/m3)	<1,0-2,0	1,0-2,0
	>3,0	3,0-5,0
Granular	<2,0	0,5-1
	2,0-4,0	0,5-2
	>4,0	>2,0

**Fuente:** Aqualimpia Beratende Ingenieure.

Entonces ya que la carga orgánica volumétrica es de 1, el área Ad se encuentra entre 1 y 2. Por tanto:

$$N = \frac{(5.4 \times 4.8) \text{ m}^2}{2 \text{ m}^2}$$

$$N = 12.96$$

Debido al diseño del sistema de distribución el número de tuberías es 11 (ver Anexo B4).

#### **2.4.9 Recolección del efluente y descarga**

Ésta será efectuada en la parte superior del reactor en el área del compartimiento de clarificación. Se utilizan vertederos triangulares o tubos perforados sumergidos. Las tuberías deben tener un diámetro de 100mm para evitar taponamientos. Se debe prever un dispositivo para que los tubos de descarga se puedan destapar en caso de obstrucciones.

#### **2.4.10 Drenaje de lodo**

Para el descarte periódico de lodos y el material inerte que se deposita al fondo del digestor, se debe prever por lo menos dos puntos de drenaje, uno junto al fondo y el otro aproximadamente de 1,0 a 1,5 m arriba del fondo. Se recomienda que en cada compartimiento de los separadores GLS se prevea dos tuberías de descarte de lodos, a los dos costados. El diámetro de estas tuberías debe ser mínimo de 150mm. Estos tubos deben tener una tubería de aireación y un dispositivo para poder destapar las tuberías en caso de obstrucciones.

#### **2.4.11 Separadores Gas-Líquido-Sólido**

Según van Haandel y Lettinga (1994), el separador GLS es el dispositivo más característico e importante del digestor UASB.

Los principales objetivos del separador de GLS en un reactor UASB son los siguientes:

- Separar y descargar el biogás producido en el digestor.
- Prevenir, tan eficientemente como sea posible el lavado de la materia bacterial viable.
- Servir como una especie de barrera para una rápida y excesiva expansión del manto de lodos (que está compuesto por lodo floculento) dentro del clarificador.
- Proveer un efecto de “pulimento”.
- Prevenir el lavado del lodo granular flotante.

Los dispositivos de separación de gases dependen del tipo de agua residual, del lodo presente en el digestor, de la carga orgánica aplicada, de la producción esperada de biogás, del tamaño de los reactores y de las condiciones de operación.

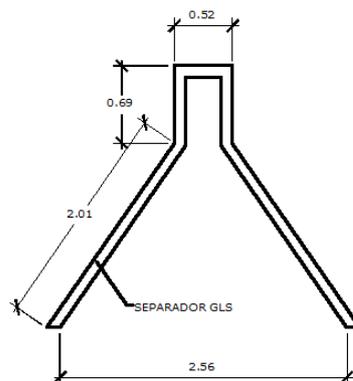
El propósito de los separadores de gases es evitar la flotación de lodo en la zona de clarificación y la consecuente pérdida de biomasa. Las dimensiones del separador deben permitir la formación de un interface gas-líquido-sólido (GLS) que permita la recolección y separación del biogás que se forma en el digestor.

El separador GLS permite que a la zona superior de clarificación del digestor solo pasen las aguas decantadas y que los sólidos sean retenidos en el área de digestión del digestor. Las burbujas de gas metano que se forman durante la digestión anaeróbica son recolectadas en la parte superior de los reactores por medio de este separador y son posteriormente conducidas hacia quemadores de biogás o a generadores de energía eléctrica o calor.

Lettinga y Hulshoff, proponen las siguientes guías para un separador de GLS:

- El ángulo de la parte baja del clarificador (pared inclinada del colector de gas) debe ser mayor o igual a  $45^\circ$ .
- El área superficial de las aberturas entre los colectores de gas debe ser de 15 a 20 % del área superficial del digestor.
- La altura del colector de gas debe estar entre 1,5 a 2 metros de la altura de un digestor de 4 a 6 metros.
- Una interface líquido-gas debe ser mantenida en el colector de gas para facilitar la descarga y recolección de las burbujas de gas y para combatir la formación de una capa espumosa.
- El traslape de los deflectores instalados debajo de la apertura debe ser de 10 a 20 cm con el fin de evitar que las burbujas de gas ascendentes entren al compartimiento de sedimentación.
- El diámetro de los conductos de salida de gas debe ser lo suficiente para garantizar la fácil remoción de biogás de la campana de recolección de gas, particularmente en el caso de formación de espuma. Se recomienda un diámetro mínimo de 50mm.

Con estos criterios se puede calcular las dimensiones del separador. La figura 2.4 muestra las dimensiones del separador GLS.



**Figura 2.4:** Separador GLS

#### 2.4.12 Captación y aprovechamiento de biogás.

El biogás que se produce a través de la digestión anaeróbica debe captarse y ser conducido a quemadores de biogás o también a generadores para la generación de energía eléctrica. La captación se la realiza por medio de los separadores GLS. En la parte superior de los separadores se conectan tuberías de acero inoxidable, PVC o caucho. El diámetro de las tuberías de conducción de biogás debe calcularse de tal forma que la velocidad de flujo sea menor a 3,5 m/s.

Se deberá prever válvulas de seguridad para regular las presiones y sub-presiones al interior del digestor. Para no permitir el ingreso de oxígeno a los reactores se debe prever un sello hidráulico tal como se expone esquemáticamente en la figura siguiente o instalar válvulas anti retorno. La figura 2.5 muestra el diseño a utilizarse en la línea de biogás.

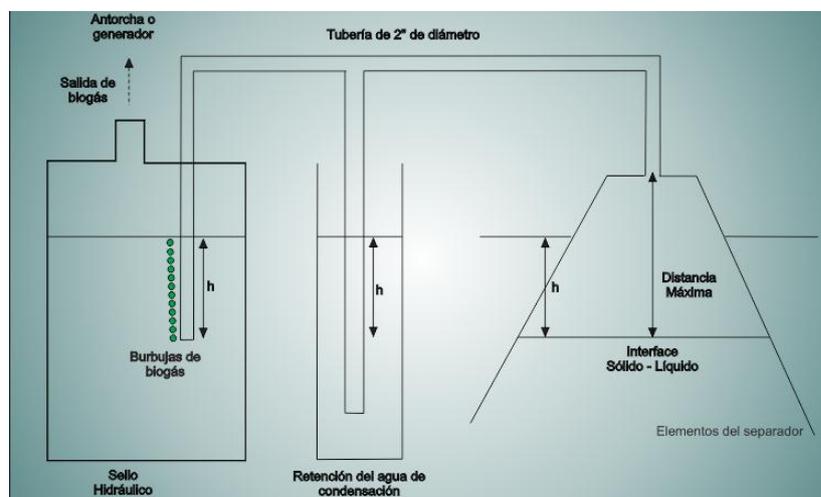


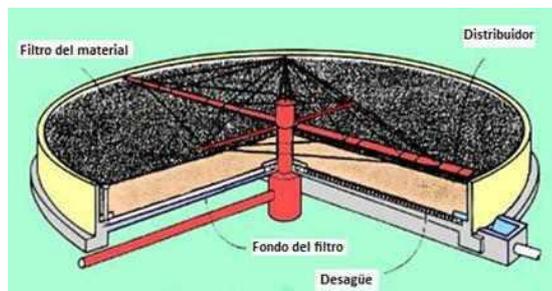
Figura 2.5: Aprovechamiento de biogás.

#### 2.4.13 Criterio para el diseño de biofiltros percoladores.

Para el dimensionamiento y diseño de los biofiltros percoladores se utilizan dos métodos de cálculo; la norma alemana ATV-281 y la norma USA del NRC. (Anexo B6)

Para el presente diseño se utilizaron estos criterios pero además se utilizaron referencias obtenidas de plantas depuradoras que se encuentran actualmente en funcionamiento<sup>14</sup>.

La eficiencia de tratamiento de los biofiltros percoladores depende de la carga orgánica volumétrica aplicada, la tasa de aplicación superficial, de la altura y tipo de medio filtrante, de la temperatura del medio ambiente, del agua residual, del factor de recirculación, cantidad de contaminantes del agua residual, y las condiciones operativas. En la figura 2.6 se muestra un esquema típico de un biofiltro.



**Figura 2.6:** Diagrama de un filtro percolador típico.

En el presente diseño se emplea gravilla de 40 a 50 mm como medio filtrante, el cual genera una superficie de adherencia donde se alojan las bacterias y no permite que estas sean arrastradas por la corriente, logrando de esta manera una mayor degradación de la materia orgánica. En el Anexo B7 se muestra el diseño completo del biofiltro.

#### **2.4.14 Velocidades de paso por aberturas a zona de clarificación**

La zona de clarificación en el digestor debe tener una altura entre 1,5 y 2,0 m. Las tasas de aplicación superficial y tiempos de retención hidráulica en la zona de clarificación se indican en la tabla siguiente:

---

<sup>14</sup> <http://www.aqualimpia.com/PDAR%20Cerro%20Grande.htm>

**Tabla 2.4:** Tasas de aplicación superficial y TRH clarificador

Tasas de aplicación superficial y TRH clarificador		
Caudales	Tasa de aplicación superficial (m/h)	TRH (h)
Caudal medio	0,6-0,8	1,5-2,0
Caudal máximo	<1,2	>1,0
Picos Temporarios	<1,6	>0,6

**Fuente:** Aqualimpia

Aberturas de paso a zona de clarificación posibilitan el paso de las aguas residuales a la zona de clarificación. Deben ser diseñadas cumpliendo los siguientes parámetros de diseño.

- Separación de gases antes de que las aguas residuales pasen a la zona de clarificación, favoreciendo la decantación de sólidos en el clarificador. Los deflectores deben prever una adecuada superposición de forma que garanticen una correcta separación de gases de la masa sólida.
- No deben permitir el paso de masa sólida ni de floculos hacia la zona de clarificación. Las velocidades de paso por las aberturas deben mantenerse dentro de ciertos rangos según se expone en la tabla 3.5.
- Las paredes de la zona de clarificación deben tener una inclinación mayor o igual a 45° para que los sólidos o floculos que se formen en la zona de clarificación caigan a la zona de digestión.
- Separar las partículas de lodos dispersas / floculos presentes en el compartimiento de clarificación 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.

**Tabla 2.5:** Velocidades de paso a zona de clarificación,

Velocidades de paso en aberturas a zona de clarificación		
Caudales	Tasa de aplicación superficial (m/h)	TRH (h)
Caudal medio	<2,0 - 2,3	1,5 - 2,0
Caudal máximo	<4,0 - 4,2	>1,0
Picos Temporarios	<5,5 - 6,0	>0,6

**Fuente:** Aqualimpia.

Con estas referencias se escogen los datos subrayados en las tablas 2.4 y 2.5 para el diseño inicial para evitar los problemas mencionados anteriormente.

#### 2.4.15 Criterio de diseño para tanques de clarificación

Los tanques de clarificación se dimensionan en base a la tasa de aplicación superficial. Para clarificadores que operan después de reactores UASB y biofiltros percoladores, la tasa de aplicación superficial se describe en la siguiente tabla:

**Tabla 2.6:** Tasa de aplicación superficial

Tasa de aplicación superficial (m <sup>3</sup> (m <sup>2</sup> .d))			
Nivel de tratamiento	Para Qmed	Para Qmax	TRH(horas)
DBO=20-30 (mg/l)	16-32	40-48	1,5-2
DBO <20 con nitrificación	16-24	32-40	2-2,5

**Fuente:** Dimensionamiento de plantas depuradoras. Dipl. Ing. Gabriel Moncayo Romero. 2011.

Para el presente diseño se propone una laguna de clarificación revestida de membrana HDPE de 1mm. En la figura 2.7 se muestra una laguna de clarificación revestida de membrana HDPE.

En el anexo B8 se muestra el diseño completo.



**Figura 2.7.** Laguna de clarificación.

#### **2.4.16 Criterios para dimensionamiento de lecho de secado de lodos.**

El dimensionamiento se lo realiza tomando en cuenta los intervalos en la descarga de lodos, el volumen de descarga y las eficiencias o tasa de producción del lecho de secado. El dimensionamiento debe considerar también otros factores como ubicación geográfica del proyecto, precipitación, tasa de evaporación, etc.

La producción de los lechos depende de las condiciones meteorológicas, temperatura y radiación. La producción está en el rango de 10-30 ( $\text{Kg}/\text{m}^3.\text{d}$ ). Por medio de investigaciones realizadas en plantas piloto en Brasil<sup>15</sup> se ha determinado un valor adecuado de 15 ( $\text{Kg}/\text{m}^3.\text{d}$ ) para las condiciones climáticas tropicales.

Los lechos de secado consisten en una cama o celda descubierta con tres capas de filtros. Sobre el fondo se asientan tuberías de drenaje con un diámetro mínimo de 100 mm, actúan como medio filtrante con una capa de grava de 40-60 mm de 20 cm de espesor. Sobre esta capa de drenaje se asienta una capa de 20 cm de arena de 0,5-1,5 mm. Sobre esta capa de arena se asienta una capa de ladrillo visto, no pegado, solo

---

<sup>15</sup> Principio de tratamiento biológico de aguas residuales. Reactores Anaeróbicos. Carlos Augusto de Lemos.

sobrepuesto. La capa de filtros puede tener una altura entre 40-60 cm. La figura 2.8 muestra un lecho de secado de lodos típico en construcción.



**Figura 2.8:** Lecho de secado de lodos.

Las celdas tienen un borde libre de aproximadamente 0,50 m. El lodo debe amontonarse hasta una altura máxima de 0,30 m. Los lechos deben alimentarse a través de varios puntos. Si se alimentan los lechos por medio de un solo punto, las celdas deben tener como mínimo un ancho de 3 m y una longitud de 5 m. Los filtros pueden tener anchos o largos de hasta más de 500m.<sup>16</sup>

El principio de funcionamiento es el siguiente; en una primera fase los líquidos contenidos en los lodos se filtran por los filtros de arena y grava. El contenido de agua es de 80-95%. Estos lixiviados deben ser bombeados hacia el pozo de ingreso del digestor UASB. En una segunda fase los lodos empiezan a secarse por medio de la radiación solar y la evaporación. Su eficiencia depende de las condiciones meteorológicas.

La recogida de los lodos se lo realiza generalmente por medios manuales. En muchas ocasiones el lodo se ensaca directamente en los lechos de secado para su comercialización o aprovechamiento posterior en la agricultura.

---

<sup>16</sup> Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y Plantas de biogás. Dipl. Ing. Sanitario Ambiental – Ing. Civil Gabriel Moncayo Romero, 2012.

Para el presente diseño se dimensiona el lecho de secado de lodos de acuerdo a las recomendaciones mencionadas ya que no existen normas a seguir para la construcción de un lecho de secado de lodos. El diseño completo se muestra en el Anexo B9.

#### **2.4.17. Diseño del sistema de bombeo para la Planta depuradora UASB.**

Es necesario definir los equipos de bombeo que permitirán que la planta depuradora trabaje de manera adecuada.

A continuación se detallan las bombas necesarias en cada etapa de tratamiento:

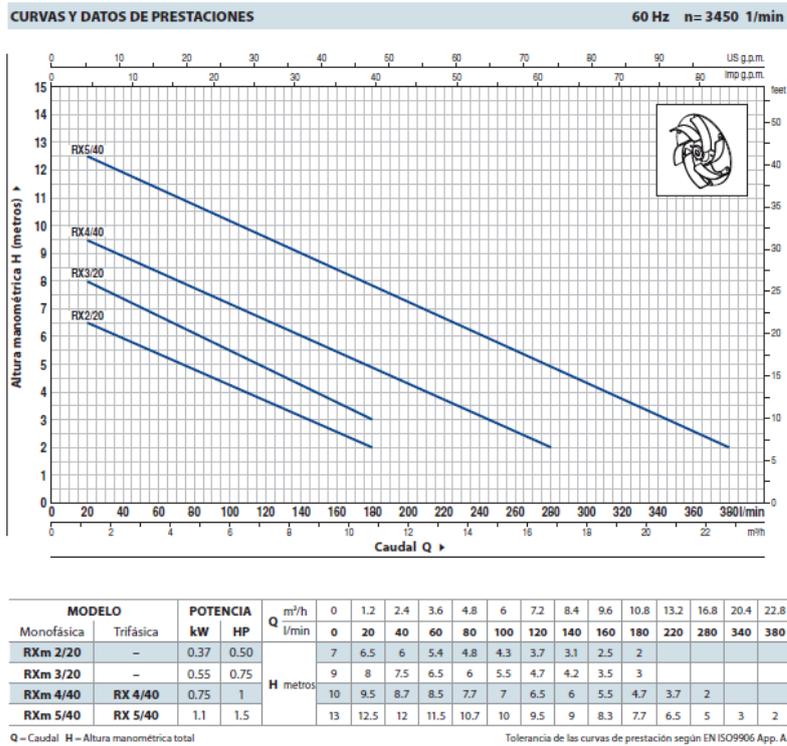
##### **Bomba de alimentación:**

Se necesita una bomba para llevar el agua residual desde el pozo de bombeo hasta la parte superior del digestor donde se encuentra el sistema de alimentación y distribución de afluente.

##### **Selección:**

Caudal =  $294\text{m}^3/\text{dia} = 12.25\text{m}^3/\text{h}$

Altura desde el pozo al reactor = 6.4m.

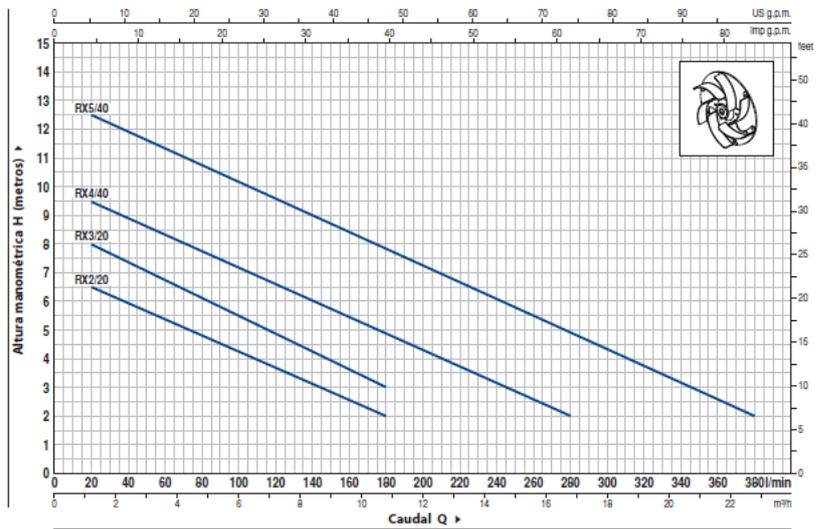


**Figura 2.9.** Curva característica bomba sumergible Pedrollo.

De acuerdo con la curva de selección en la figura 2.9, se necesita una bomba sumergible para drenaje marca Pedrollo modelo RXm 5/40 de 1.5 hp (ver Anexo B10) para la distribución del agua residual en el tanque elevado.

**Bomba para descarga del clarificador:** Dentro de la laguna de clarificación se necesita descargar hacia el pozo de bombeo los lixiviados que se forman tras el proceso de clarificación del agua residual.

**Selección:**



MODELO		POTENCIA		Q	H metros															
Monofásica	Trifásica	kW	HP		0	1.2	2.4	3.6	4.8	6	7.2	8.4	9.6	10.8	13.2	16.8	20.4	22.8		
RXm 2/20	-	0.37	0.50	l/min	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	220	280	380			
RXm 3/20	-	0.55	0.75	H metros	7	6.5	6	5.4	4.8	4.3	3.7	3.1	2.5	2						
RXm 4/40	RX 4/40	0.75	1		9	8	7.5	6.5	6	5.5	4.7	4.2	3.5	3						
RXm 5/40	RX 5/40	1.1	1.5		10	9.5	8.7	8.5	7.7	7	6.5	6	5.5	4.7	3.7	2				
					13	12.5	12	11.5	10.7	10	9.5	9	8.3	7.7	6.5	5	3	2		

Q – Caudal H – Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 App. A.

**Figura 2.10.** Curva característica bomba sumergible Pedrollo.

De acuerdo con la curva de selección en la figura 2.10, se selecciona una bomba sumergible para drenaje marca Pedrollo modelo RXm 2/20 de 0.5hp monofásica (ver Anexo B10).

**Bomba para el lecho de secado de lodos:**

Debido a que esta bomba cumple con el mismo objetivo que la bomba usada en el clarificador se instalará la misma bomba (ver Anexo B10).

**2.4.18 Diseño electromecánico y de control.**

En el Anexo B11 se detalla el circuito de control y potencia escogido para las bombas necesarias en la planta de tratamiento de aguas residuales.

## **2.5 ARRANQUE DEL REACTOR.**

La eficiencia de un proceso biológico anaerobio en condiciones normales, requiere que los microorganismos sean compatibles con el agua residual a tratar, es decir, que las bacterias encargadas de la biodegradación tengan un ambiente adecuado para su sobrevivencia y desarrollo, cuidando la sensibilidad de los mismos, especialmente las formadoras de metano para poder efectuar un buen arranque. Sin embargo, la puesta en marcha del sistema, se realiza en un tiempo prácticamente prolongado (2 a 6 meses), dependiendo de la calidad del inóculo y las características del agua residual, debido a que solo el 10 % del agua residual se transforma en biomasa, y al principio el sistema no cuenta con ésta para procesar el residuo líquido, por lo tanto, la manera de sobrellevarlo es programarlo anticipadamente, utilizando biomasa semilla mejor conocida como inóculo para que se lleve a cabo la aclimatación de los microorganismos presentes con el sustrato, en un período comúnmente conocido como inoculación, considerando que el tratamiento completo se iniciará después de este período.

### **2.5.1 Inoculación.**

Este proceso requiere de biomasa semilla formada por lodos anaerobios maduros, la cual deberá contener gran cantidad de materia orgánica, tal como rumen de vaca o bovino, lodos digeridos de desagüe, tanques sépticos, o materia orgánica de un digestor que se encuentre en funcionamiento, pues éstas contienen las bacterias necesarias para el proceso, cuyo objeto principal consiste en propiciar su crecimiento y adaptación al sustrato alimentado, que por lo general es diferente al que tuvo originalmente la semilla, mediante un estricto control de parámetros que influyen sobre las bacterias que intervienen en el proceso de digestión anaerobia.

La cantidad de inóculo ingresado al digestor debe ser de aproximadamente el 20 al 30 % de su volumen total.<sup>17</sup>

### 2.5.2 Evaluación del sistema.

Para la evaluación de un digestor UASB es imprescindible determinar los parámetros denominados de control, en función de los cuales se estima la eficiencia de remoción.

Los parámetros utilizados en la evaluación del funcionamiento del digestor UASB se dividen en principales y auxiliares como se muestra en la tabla 2.7.

**Tabla 2.7:** Parámetros de evaluación.

<b>Parámetros de Evaluación</b>		
<b>Principales</b>	<b>Auxiliares</b>	<b>Otros</b>
DQO, DBO, pH, Alcalinidad, Sólidos Totales	Coliformes fecales, Nitrógeno total y amoniacal, fósforo	Temperatura, turbiedad, sulfuros, producción de metano, metales pesados.

**Fuente:** Diseño teórico de un reactor híbrido mediante sistemas no convencionales para el tratamiento de aguas residuales. Pérez Yadira, Villegas Omar.

En el Anexo B12 se muestra un formato con los parámetros a controlarse y los valores óptimos dentro de los cuales deberían estar.

<sup>17</sup> Diseño teórico de un reactor híbrido mediante sistemas no convencionales para el tratamiento de aguas residuales. Pérez Yadira, Villegas Omar.

## **CAPÍTULO III**

# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE BIODIGESTOR.**

### **3.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO.**

En el diseño conceptual del prototipo, se definen las partes y mecanismos principales que llevan a cabo las funciones deseadas del dispositivo que en este caso es el tratamiento de aguas residuales, la producción y quema de biogás en una hornilla, además de la obtención de biol.

#### **3.1.1 MANEJO DE LOS FACTORES EN EL PROTOTIPO**

Como se mencionó en el capítulo I los factores que influyen en el proceso de digestión anaerobia se resumen básicamente en los siguientes elementos:

- a. Temperatura
- b. pH
- c. Nutrientes
- d. Ácidos grasos volátiles
- e. Alcalinidad
- f. Toxicidad
- g. Homogenización
- h. Tiempo de retención hidráulico

Debido a que el funcionamiento del prototipo únicamente puede realizar acciones que permitan manejar los factores físicos, ya que los factores químicos y biológicos dependen de la preparación de la mezcla de materia orgánica, se trabaja sobre los factores físicos.

El objetivo del prototipo es simular el proceso de digestión anaerobia dentro de un biodigestor, además de llegar a la obtención y aprovechamiento de biogás y biol, lo cual permite obtener resultados reales en cuanto a la degradación de materia orgánica y producción de biogás dependiendo de la carga al digestor. Estos resultados permitirán analizar la factibilidad para la construcción del biodigestor UASB propuesto para el tratamiento de aguas residuales y además si es o no posible aprovechar el biogás generado en éste.

Para el manejo de la temperatura, se utiliza un sistema de calentamiento el cual mantendrá a una temperatura de alrededor de 37°C a la mezcla, para así obtener resultados óptimos en la producción de biogás.

Para la homogenización de la mezcla se realizará la carga de materia orgánica con dilución al 10% de masa seca.

Otros factores a considerar son la presión y el pH tanto en la carga como en la descarga, para así mediante muestras obtener los datos necesarios para mantener una buena producción de biogás.

### **3.1.2 CRITERIOS Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO**

Los criterios de diseño para el dispositivo deben contemplar principalmente: El buen funcionamiento, sencillez en el mantenimiento, seguridad, facilidad de operación, durabilidad y sencillez para su construcción. A continuación se presenta la lista de criterios y consideraciones que se tomaron en cuenta para el diseño:

- Las propiedades de la materia orgánica a utilizar para la carga del biodigestor.
- La capacidad del tanque de digestión.
- El espacio físico disponible.
- La carga diaria no debe sobrepasar el 3% del volumen del digestor para evitar una sobrecarga del mismo.

- Disponer de recirculación forzada mediante una bomba para que así se puedan obtener mejores resultados en la producción de biogás.
- El prototipo debe constar con un sistema de calentamiento automático el cual permita mantener a una temperatura constante de 37°C a la mezcla con una tolerancia de  $\pm 2^\circ\text{C}$  para obtener resultados óptimos en la producción de biogás.
- La disponibilidad de materiales y equipos en el mercado para su implementación.
- El manejo de la materia orgánica tanto en la carga como en la descarga.

### 3.2 DISEÑO CONCEPTUAL

En esta parte se plantean soluciones a los requerimientos del digestor, tomando en cuenta todos los factores anteriormente definidos, así mismo se definen las partes del prototipo.

#### 3.2.1 DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES DEL PROTOTIPO

Para el diseño del prototipo se definieron las características de la materia orgánica a digerir y del producto que se obtendrá al finalizar el proceso (biogás y biol), a partir de ello y del estudio realizado de los requerimientos del proceso de digestión se establecieron las funciones que debe realizar el prototipo para alcanzar éste fin; lo que se resume en la tabla a continuación:

**Tabla 3.1** Funciones del prototipo.

Puntos considerados	Consideraciones definidas para el diseño
Características de la materia orgánica a procesar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dilución de masa seca al 10%</li> <li>• Materia orgánica preferentemente de la misma fuente.</li> </ul>

Funciones del prototipo durante el proceso de digestión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporcionar un medio que permita mantener una temperatura de la mezcla de alrededor de 37°C.</li> <li>• Permitir que el proceso de digestión se realice de una manera adecuada en el menor tiempo posible.</li> <li>• Almacenar el biogás</li> <li>• Conducir el biogás.</li> <li>• Filtrar y asegurar la presencia de biogás con los parámetros requeridos para su utilización.</li> </ul>
Salida de Materia Orgánica (biol)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lodos razonablemente estables y que pueden secarse por métodos convencionales.</li> </ul>

**Fuente:** El autor.

Con base en lo indicado en la tabla 3.1 y tomando en cuenta las particularidades de ciertos tipos de biodigestores, se establecieron las partes, mecanismos o sistemas principales con los cuales debe contar el prototipo, los cuales se enlistan a continuación:

- Tanque de digestión anaeróbico de flujo continuo.
- Sistema de calentamiento automático que permita mantener la mezcla a una temperatura de 37°C con una tolerancia de entre  $\pm 2^\circ\text{C}$ .
- Mecanismo para la carga y descarga de la mezcla.
- Sistema de agitación (recirculación) para mejorar la producción de biogás.
- Línea de conducción de biogás que cuenta con una válvula de seguridad que impide la salida de biogás (además de realizar la función de filtro de condensados) y filtro de H<sub>2</sub>S para evitar la corrosión en el quemador y malos olores.

### **3.2.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN.**

Debido a las necesidades mencionadas anteriormente y ya que en el mercado no existe un tipo de biodigestor que cumpla con las condiciones necesarias se plantea diseñar un biodigestor utilizando los principios de ingeniería y conocimientos adquiridos tras investigación y ensayos que permitieron poco a poco ir desarrollando este tipo de biodigestor.

### **3.2.3 DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.**

Además de las funciones descritas en el punto 3.2.1, el prototipo deberá presentar otras particularidades que se describen a continuación:

- En el tanque de carga se debe homogenizar la mezcla para obtener la dilución deseada que es del 10% de masa seca, para esto se utiliza un embudo.
- El sellado del digestor debe proporcionar un medio que además de impedir el ingreso de oxígeno al digestor, permita acumular el biogás generado.
- Con el objetivo de incrementar la producción de biogás se plantea tener recirculación forzada mediante una bomba de  $\frac{1}{2}$  hp la cual mediante automatismos descritos en la parte de control recircula la mezcla durante un tiempo determinado mediante ensayos.
- Para lograr alcanzar la temperatura de 37°C en la mezcla se implementa un intercambiador de calor el cual se lo describe con detalle en la parte de diseño mecánico.
- Para el control y medición de temperatura se necesita hacer un control automático el cual nos permitirá mantener la temperatura de 37°C, para ello se utiliza un termostato digital que permite controlar la temperatura de la mezcla del tanque de digestión, este sistema se describe con detalle en la parte de diseño de control.

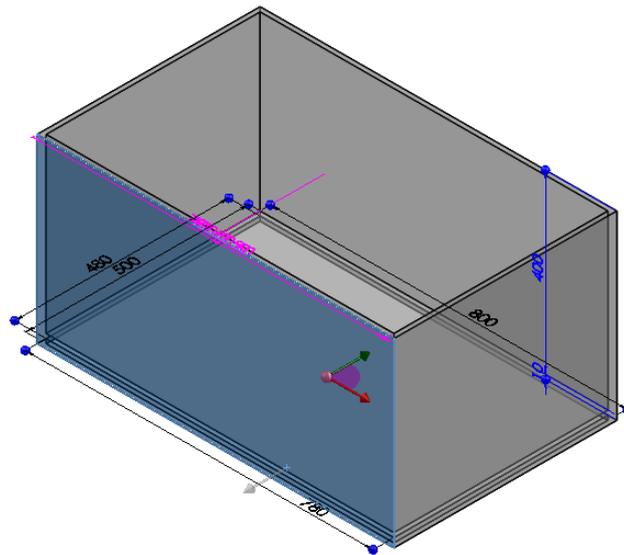
### 3.3 DISEÑO MECÁNICO

En esta parte del diseño se definen las piezas, materiales y especificaciones técnicas para la construcción.

#### 3.3.1 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE DIGESTIÓN.

Debido a que el prototipo va a ser utilizado como equipo de laboratorio además de ser agradable a la vista y proporcionar una manera didáctica para la observación del principio de digestión, se lo diseña de vidrio de 10 milímetros de espesor.

Las dimensiones son de 80 cm. de largo, 50 cm. de ancho y 40 cm. de altura, ver figura 3.1, el cual cumple con los requerimientos necesarios en un tanque de digestión.

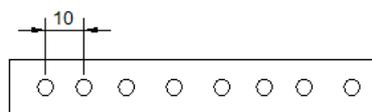


**Figura 3.1** Tanque de digestión

#### 3.3.2 SELLO HIDRÁULICO DE GEOMEMBRANA.

El tanque de digestión anaerobia debe estar diseñado de tal manera que no se permita el ingreso de oxígeno, para esto, se prevee el diseño de un sello hidráulico con la geomembrana.

Para lograr este objetivo se diseñaron 2 platinas de 1m.x70cm. agujeradas (ver figura 3.2 inciso a y b) para mediante esta técnica sellar el digestor ajustando la membrana entre las dos platinas utilizando pernos de ¼ x 1 pulgada con sus respectivas tuercas y ajustar la membrana para evitar fugas de biogás e ingreso de oxígeno.



a) Separación entre agujeros cm      b) Colocación de pernos.

**Figura 3.2:** Sello Hidráulico

### 3.3.3 ZONA DE CARGA

#### a. CRITERIOS UTILIZADOS PARA LA CARGA

El principal objetivo es realizar una carga de 4 litros. A continuación se detallan los cálculos que permitieron obtener la dimensión del tanque de carga:

$$V=80 \times 50 \times 40 \text{ cm}^3$$

$$V=160000 \text{ cm}^3 = 160 \text{ litros.}$$

El nivel de la mezcla se lo definió en 30 cm., tomando en cuenta las dimensiones del digestor. El volumen de la mezcla en el tanque de digestión será:  $V=80 \times 50 \times 30 = 120000 \text{ cm}^3 = 120 \text{ litros.}$

Debido a que la carga se la definió en un máximo de 4 litros<sup>18</sup> o  $4000 \text{ cm}^3$ , el 10% de esta mezcla nos da  $400 \text{ cm}^3$  o definiéndolo en términos de

<sup>18</sup> El máximo de carga de 4 litros se define debido a que el nivel de la mezcla dentro del digestor es 120 litros y por tanto para tener una carga máxima del 3% se necesita cargar máximo 400 g. de MS que corresponde al 10% de la carga.

masa seca (MS) 400g, entonces no se puede agregar más de 400g de masa seca al digestor porque se sobrecargaría, matando así las bacterias, ya que no se puede cargar más del 3% del volumen total del digestor<sup>19</sup>.

### 3.3.4 SISTEMA DE CALENTAMIENTO.

Se debe mantener una temperatura apta para la producción de biogás es por esto que se tomaron en cuenta dos formas de calentamiento, las cuales se las detallan a continuación:

- 1) Sistema de calentamiento mediante resistencias

Utilizando resistencias desempañadoras de vidrios.



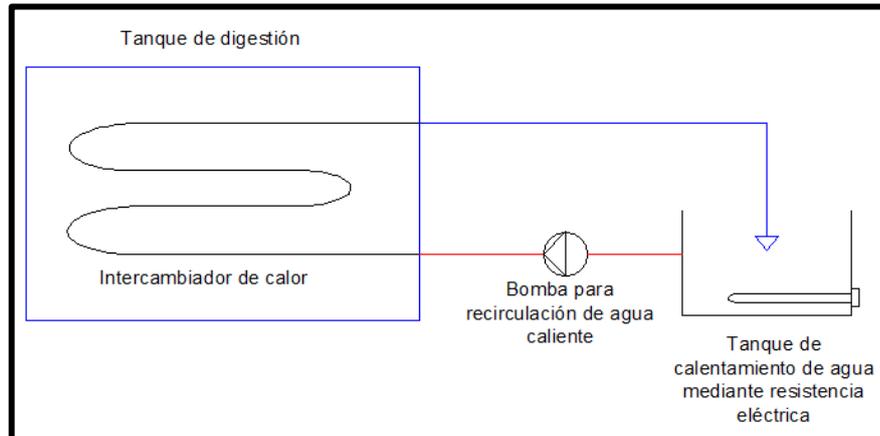
**Figura 3.3:** Resistencia desempañadora de vidrio de 80 W.

- 2) Intercambiador de calor

El diseño conceptual se muestra en la siguiente figura:

---

<sup>19</sup> Grupo Aqualimpia Consultores. Tglo. Santiago Arcos representante de Aqualimpia en Ecuador.



**Figura 3.4:** Intercambiador de calor.

**a. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA NECESARIA PARA EL INTERCAMBIADOR DE CALOR.**

Para el presente cálculo se tomaron en cuenta los siguientes datos:

Masa a calentarse: 120 Kg de agua.

Calor específico del agua:  $4.186 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ C}$

Variación de temperatura en el intercambiador de calor:  $2^\circ C$

$$E = m \cdot cp \cdot \Delta T$$

$$E = 120 \text{ Kg} \times \left( 4.186 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ C} \right) \times 2^\circ C$$

$$E = 1004.64 \text{ KJ}$$

$$P = \frac{E}{t}$$

$$P = \frac{1004.64 \text{ KJ}}{600 \text{ s}}$$

$$P = 1.67 \text{ KW}$$

A continuación se detallan los materiales utilizados para el diseño del intercambiador de calor:

**Tabla 3.2** Materiales utilizados para el intercambiador de calor.

<b>Material</b>	<b>Descripción</b>
Tubo Gerpex Polietileno 16x2 Al	Utilizado como intercambiador de calor por poseer un alma de aluminio que permite una buena transferencia de calor entre la mezcla del digestor y el agua caliente.
Bomba Centrífuga UPS 25-42-180 (110V)	Por el hecho de necesitar una bomba por la cual recircule el agua caliente se optó por esta opción siendo la de menor caudal existente en el mercado y costo moderado.
Resistencia de tanque de 2 KW a 110V	Permite calentar el agua dentro de un tanque para de esta manera intercambiar calor con la mezcla del digestor.
Termostato interior tapa plástica	Control propio de la resistencia que nos permite asegurar que el agua no se evapore en el tanque.
Accesorios de tubería PVC	Válvulas, acoples y accesorios necesarios para la circulación de agua caliente en el intercambiador

**Fuente:** El autor.

Una vez diseñado el sistema de calentamiento se debe diseñar el sistema de aislamiento, para el cual se escogió styroplan de 2cm debido a su bajo coeficiente de conductividad térmica.



**Figura 3.5:** Styroplan

### **3.3.5 ZONA DE DESCARGA**

En la zona de descarga se puede describir la salida de biogás así como la salida de biol. Los accesorios están diseñados para lograr este objetivo como se muestra en la figura 3.6.



**Figura 3.6:** Disposición de accesorios PVC

Para la salida de biogás (1), el codo hacia arriba permite que solo salga biogás por éste, ya que se encuentra sobre el nivel máximo de carga, en tanto que para la descarga de biol (2) tenemos una conexión con un codo y neplo hacia abajo el cual nos permite desbordar el biol.

### **3.3.6 RECIRCULACIÓN (AGITACIÓN FORZADA)**

Se utilizó una bomba de  $\frac{1}{2}$  hp para lograr recircular la mezcla permitiendo así aumentar los niveles de producción de biogás, por el hecho de recircular lodos además de evitar la formación de costras que inhiben el

proceso e impiden que el biogás salga a la superficie. El circuito de recirculación se muestra en la siguiente figura:



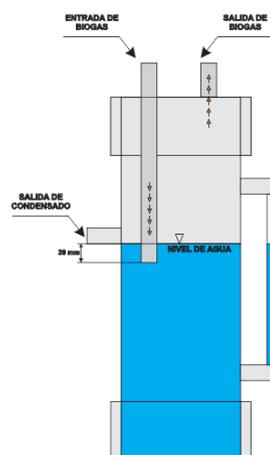
**Figura 3.7:** Línea de recirculación forzada.

### 3.3.7 LINEA DE CONDUCCIÓN DE BIOGÁS

Comprende todos los equipos necesarios para poder aprovechar el biogás de una manera segura y óptima.

#### a. VÁLVULA DE SEGURIDAD

Impide que exista una presión mayor a 2 mbar, asegurando una presión estable en el digestor, además de funcionar como trampa de condensados eliminando el exceso de agua en el biogás.

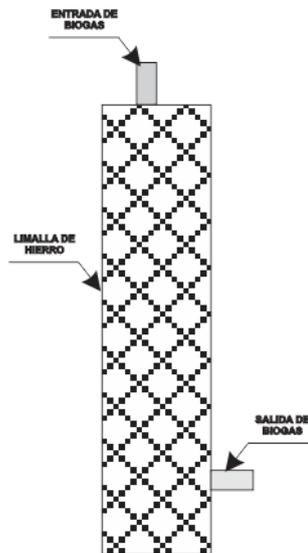


**Figura 3.8:** Válvula de Seguridad y Filtro de Condensados.

## b. FILTRO DE H<sub>2</sub>S

Permite filtrar el H<sub>2</sub>S para evita corrosión en el quemador además de evitar los olores desagradables.

El medio filtrante escogido fue limalla de hierro debido a su fácil obtención. El diseño se lo muestra en la siguiente figura:

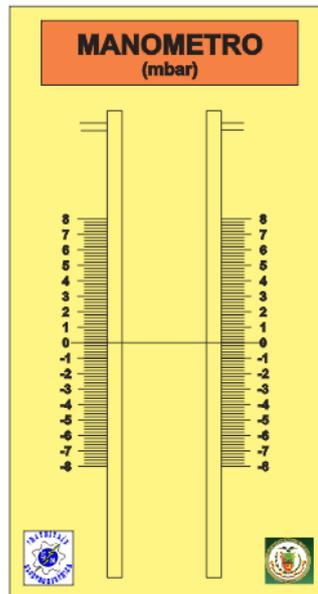


**Figura 3.9:** Filtro de H<sub>2</sub>S

## c. MANÓMETRO

Permite observar a que presión se encuentra el biogás.

El diseño permite colocar ya sea un tubo en U o en su defecto un pedazo de manguera en U para poder medir la presión.



**Figura 3.10:** Diseño de manómetro en mbar.

### **3.4 DISEÑO ELECTROMECAÁNICO Y DE CONTROL.**

El sistema electromecánico y de control permite el funcionamiento automático del sistema de calentamiento y recirculación, las funciones son las siguientes:

1. Encender la bomba para recirculación por 10 minutos y volverla a prender dentro de 2 horas.
2. Mantener la temperatura de la mezcla en el tanque de digestión en 37°C con un  $\Delta T$  de 2°.
3. Encender la resistencia al mismo tiempo que la bomba de recirculación de agua caliente en el momento que la temperatura haya bajado de 37°C.
4. Desconectar la resistencia a una temperatura calibrada mediante un termostato adherido al tanque de calentamiento de agua para evitar problemas en el nivel de agua por evaporación.

Para la medición y control de la temperatura se utilizó el termostato digital TIC-17S de la empresa full gauge utilizado tanto para sistemas de calefacción como de refrigeración (Anexo C1). Este dispositivo posee un relé interno el cual nos permite activar o desactivar un contacto cuando la temperatura ha bajado o subido del set point ingresado en el dispositivo.

Para cumplir con todas las funciones indicadas se diseñó el siguiente circuito de control y potencia (Anexo C2).

### 3.5 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

La construcción final de prototipo se puede mostrar en la siguiente figura:



**Figura 3.11:** Biodigestor en funcionamiento.

### 3.6 PRUEBAS Y RESULTADOS

Las primeras pruebas que se realizaron fueron con el objetivo de lograr las condiciones necesarias para lograr la digestión de la materia orgánica además de una producción estable de biogás y biol en condiciones óptimas.

Las pruebas que se efectuaron son las siguientes:

1. Medición del porcentaje de masa seca de la muestra.

2. Dilución de la mezcla al 10% de masa seca.
3. Prueba de funcionamiento de las variables físicas controlables del prototipo.
4. Medición de ph del biol.

### 3.6.1 PRUEBA DE MASA SECA REALIZADA PARA LA CARGA.

Una vez definidas las condiciones necesarias para realizar la carga diaria, se debe realizar la prueba de masa seca a la materia orgánica que se va a alimentar al digestor, en este caso biomasa de ganado. Para realizar esta prueba se optó por la utilización de un horno eléctrico como se muestra en la figura 3.12.



**Figura 3.12:** Biomasa de ganado antes de realizar la prueba de MS.

La prueba se la realizó hasta reducir a cenizas la biomasa de ganado, permitiendo de esta manera obtener el porcentaje de masa seca de la muestra (ver figura 3.13). Los resultados obtenidos se muestran a continuación:



**Figura 3.13:** Pesado de biomasa de ganado después de la prueba.

Peso de biomasa: 235g.

Peso de biomasa después de la prueba: 36g.

Por tanto, mediante una regla de tres simple se puede obtener el contenido de agua en la muestra, obteniendo como resultado un 15% de masa seca.

Una vez obtenido este porcentaje se realizan los cálculos para obtener una dilución de masa seca al 10% agregando agua a la mezcla.

Cabe recalcar que ésta relación resulta ser inversa debido a que a menor concentración de agua existe un mayor porcentaje de masa seca.

$$235 \qquad 15\%$$

$$x \qquad 10\%$$

$$x = 352.5 \text{ g.}$$

Este resultado indica los gramos totales de biomasa mezclada con agua para lograr la concentración al 10 %. Entonces para obtener los gramos de agua para la dilución:

$$\text{Agua g.} = (352.5 - 235)g.$$

$$\text{Agua g.} = 117.5 \text{ gramos}$$

Definida esta relación y la forma de cálculo, se puede realizar el plan de carga diario, para esto, además se debe definir un tiempo de retención hidráulico que en este caso fue de 15 días.

**Tabla 3.3.** Formato para el Plan de Carga Diario.

PLAN DE CARGA							
FECHA	CARGA DIARIA (MASA SECA AL 10%) g.	CARGA DIARIA BIOMASA	CARGA DIARIA AGUA	CARGA DIARIA (MUESTRA BIOMASA+ AGUA) g.	pH	TEMPERATURA	OBSERVACIONES
17/07/2012	26	173	87	260			Se inocula con rumen disuelto en agua.
18/07/2012	52	346	174	520	7	35	Carga normal, se empieza a incrementar la carga de acuerdo al plan de carga
19/07/2012	78	520	260	780	7	35,7	S/N
20/07/2012	104	693	347	1040	7	35,6	S/N
21/07/2012	130	866	434	1300	7	36,4	S/N
22/07/2012	156	1039	521	1560	7	36,5	S/N
23/07/2012	182	1212	608	1820	7	36	S/N
24/07/2012	208	1385	695	2080	7	37	S/N

Fuente: El Autor

Los resultados detallados en el plan de carga diario se encuentran en el Anexo C3.

Una vez obtenidos los resultados deseados en la degradación de biomasa y producción de biogás se instaló un medidor de gas (ver figura 3.14) para saber con precisión la cantidad de biogás producido en relación a la cantidad de materia orgánica degradada.



**Figura 3.14.** Medidor de gas METREX.

Las pruebas y mediciones se realizaron en un periodo de 7 días con la carga máxima del digester, es decir, 400 g de masa seca cargados diariamente. A continuación se detalla la producción de biogás que se logró obtener además de datos como temperatura y pH.

**Tabla 3.4** Producción de biogás.

<b>Fecha</b>	<b>Carga Diaria MS g.</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Producción de biogás m<sup>3</sup></b>
30/08/2012	400	7	37	0.015
31/08/2012	400	7	37	0.016
01/09/2012	400	7	37	0.020
02/09/2012	400	7	37.5	0.020
03/09/2012	400	7	37.9	0.020

04/09/2012	400	7	37.6	0.020
05/09/2012	400	7	37	0.022

**Fuente:** El autor.

Con estos resultados se concluye que la producción es estable y que se obtiene diariamente alrededor de 0.022 m<sup>3</sup> de biogás el cual es consumido en una hornilla en aproximadamente 3 minutos.

### **3.6.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO EL PROTOTIPO DE BIODIGESTOR.**

Una vez cumplida la investigación necesaria para poder simular condiciones óptimas de digestión anaerobia en el prototipo se procedió a tratar aguas residuales.

Debido a la necesidad de obtener datos reales para simular el proceso de digestión que tendrían las aguas residuales a tratarse dentro de un biodigestor diseñado para la Escuela Politécnica del Ejército extensión Latacunga, se recogieron muestras de ésta agua en el nuevo campus. (Figura 3.15 inciso a y b).



- a) Recipientes utilizados para la obtención del agua residual.
- b) Pozo construido actualmente para la recolección del agua residual.

**Figura 3.15:** Muestra de Aguas Residuales ESPEL.

Una vez obtenida la muestra se deben seguir estos pasos para simular el tratamiento de aguas residuales:

1. Inocular el digestor. Se introdujo inóculo de un biodigestor en funcionamiento. El volumen del inóculo fue de 80 litros.
2. Ajustar la temperatura del digestor a 37°C
3. Simular condiciones de carga de agua residual, para esto se cargó agua de pozo simulando la concentración de DBO de la ESPE de 510 mg/l.
4. Permitir que se realice la digestión anaerobia con un tiempo de retención hidráulico de 12 horas<sup>20</sup>.
5. Obtener una muestra por el tanque de descarga para enviarla a analizar en un laboratorio comercial.

El agua residual tratada en el digestor se la envió a analizar en el Centro de Servicios Ambientales y Químicos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (Anexo C4), el cual tras su análisis se concluye:

<sup>20</sup> Tratamientos anaeróbicos de aguas residuales. Adrianus van Haandel y Gatze Lettinga. 2001

La muestra de agua residual analizada cumple con la norma que se estipula en el libro TULAS (Libro VI, Anexo 1, Tabla 12), límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, por tanto, el tratamiento dado al agua residual dentro del digestor es el apropiado.

## CAPÍTULO IV

### COSTOS

#### 4.1 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE LA PLANTA DEPURADORA UASB.

##### 4.1.1 Costos de construcción.

Para el presente proyecto los costos se los detalla en la tabla 4.1, los mismos están referidos a un caudal de 294 m<sup>3</sup>/día de agua residual.

**Tabla 4.1.** Costos aproximados del proyecto.

<b>Costos aproximados de la construcción</b>				
	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (US\$)</b>	<b>Subtotal (US\$)</b>
<b>Cribado - desarenador</b>				
Excavación	(m3)	3,63	2,5	9,075
Hormigón armado (250Kg/cm2)	(m3)	4,2	180	756
Hormigón simple relleno (110 Kg/cm2)	(m3)	1,4	80	112
Hierro estructural	(Kg)	252	3,2	806,4
Encofrado	(m2)	3,38	20	67,6
Enlucido	(m2)	4,26	20	85,2
Rejillas para cribado	(m2)	0,1	150	15
Compuertas para desarenador	(m2)	0,1	120	12
			<b>Subtotal</b>	<b>1863,275</b>
<b>Digestor UASB</b>				
Excavación	(m3)	38	2,5	95
Hormigón armado	(m3)	34	180	6120
Hierro Estructural	(Kg)	2072	3,2	6630,4
Encofrado	(m2)	195	20	3900
Enlucido	(m2)	297	20	5940
Separadores GLS	(m2)			
Tuberías captación biogás	(global)	9,84	15	147,6
Tuberías de alimentación	(m)	74	7	518
Tuberías descarte de lodos	(global)	2	15	30
Tuberías de descarga	(m)	42	7	294
Válvulas de cierre tubería de descarte de lodos	(unidad)	1	250	250

Bomba para alimentación	(unidad)	1	600	200
			<b>Subtotal</b>	<b>24525</b>
<b>Biofiltro</b>				
Excavación	(m3)	30	2,5	75
Hormigón armado	(m3)	23	180	4140
Hierro Estructural	(Kg)	1384	3,2	4428,8
Encofrado	(m2)	98	20	1960
Enlucido	(m2)	106	20	2120
Medio filtrante	(m3)	135	40	5400
Tubería rociador	(m)	20	7	140
Accesorios	global			300
			<b>Subtotal</b>	<b>18563,8</b>
<b>Clarificador</b>				
Excavación	(m3)	120	2,5	300
Hormigon	(m3)	13	180	2340
Hierro Estructural	(kg)	800	3,2	2560
Encofrado	(m2)	45	20	900
Enlucido	(m2)	76	20	1520
Geomembrana HDPE de 1mm	(m2)	24	9,94	238,56
Tubería clarificador	m	20	7	140
Bomba	(unidad)	1	400	400
			<b>Subtotal</b>	<b>8398,56</b>
<b>Lecho de secado de lodos</b>				
Excavación	(m3)	87	2,5	217,5
Hormigón armado	(m3)	16	180	2880
Hormigón de relleno	(m3)	7	80	560
Hierro Estructural	(kg)	673	3,2	2153,6
Encofrado	(m2)	24	20	480
Enlucido	(m2)	13	20	260
Compuertas	u	1	80	80
Tubería de drenaje	(m)	70	6	420
Medio filtrante (grava)	(m3)	7	30	210
Medio filtrante (arena)	(m3)	7	25	175
Ladrillo sobrepuesto	(m2)	70	6	420
Bomba	(unidad)	1	400	400
			<b>Subtotal</b>	<b>8256,1</b>
			<b>Total</b>	<b>61606,735</b>

Fuente: El autor

#### 4.1.2 Costos de operación.

Los costos de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (Tabla 4.2), son los siguientes:

**Tabla 4.2** Costos de operación de la planta UASB

Descripción	Cantidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Encargado mantenimiento rutinario (1 d/mes)	12	10	120
Encargado control y funcionamiento (1 d/mes)	12	10	120
Encargado de mantenimiento general (1 d/año)	1	150	150
Total			390

**Fuente:** El autor.

**Mantenimiento de la planta:** A cargo de una persona que puede ser trabajador regular de la ESPE, cuya función principal será limpiar el sistema de alimentación para evitar taponamientos en las tuberías de alimentación del reactor. También deberá limpiar el lodo floculento que se acumula en el interior del separador GLS y velar por el funcionamiento normal del reactor, siendo necesaria su presencia por lo menos una vez por semana.

**Control periódico del funcionamiento (Eficiencia de Remoción):** Este control debe ser por lo menos una vez cada mes. El control de la eficiencia se realizará mediante el envío de muestras del agua residual cruda y tratada a un laboratorio comercial certificado para la determinación de los parámetros de referencia: DQO, DBO y sólidos, con el fin de determinar el tiempo de descarga de los lodos del reactor.

#### 4.2 BENEFICIOS DE LA PLANTA DEPURADORA UASB.

La planta depuradora UASB cumple con la función ecológica de reciclar totalmente los desechos orgánicos a un costo muy bajo, consiguiendo también la protección del suelo (al producir abono de gran calidad), del

agua (al evitar verter residuos orgánicos), del aire y la atmósfera (al reducir las emisiones de CH<sub>4</sub>, reduciendo así el efecto invernadero).

#### **4.2.1 Beneficios económicos resultantes de la aplicación de esta tecnología.**

- Producción de energía mediante el aprovechamiento de biogás (electricidad y calor).
- Producción de bioabono de alta calidad.
- Mayor eficiencia en materia de costos que otras opciones de tratamiento desde la perspectiva del ciclo de vida y del rendimiento de utilidades.

#### **4.2.2 Beneficios medioambientales**

El uso de combustibles fósiles para obtener energía, sobre todo eléctrica, trae como consecuencia el vertido de sustancias tóxicas al aire, al agua y a los suelos, dañando la naturaleza. Frente a esta situación y en un futuro no muy lejano, parece clara la necesidad de una transición en las fuentes de energía desde su actual dependencia de los hidrocarburos a nuevas energías renovables y cada vez más ecológicas.

El empleo de ésta tecnología de digestión anaerobia para tratar la biomasa residual húmeda además de anular su carga contaminante reduce fuertes olores molestos y elimina casi en su totalidad los gérmenes y los microorganismos patógenos del vertido.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES.**

- El biodigestor UASB diseñado es aceptable para el tratamiento de aguas residuales.
- La producción estimada de biogás de 66 m<sup>3</sup>/día en el digestor UASB diseñado es baja considerando experiencias en digestores similares, por tanto, el aprovechamiento del biogás no es viable.
- El pH debe mantenerse entre los valores referenciales de 6.5 a 7.5 para que el proceso de digestión sea el correcto y por tanto la producción de biogás sea estable.
- Se debe inocular al digestor para el arranque del mismo.
- Los lodos que se generan en el digestor deben ser retirados periódicamente.
- Los lixiviados generados en el clarificador y en el lecho de secado de lodos deben ser bombeados hacia el digestor.
- Debido a sus componentes químicos, el agua potable agregada a la mezcla de carga al digestor provoca la muerte de las bacterias necesarias para el proceso de digestión.

#### **5.2 RECOMENDACIONES.**

- Realizar un estudio para determinar el mejor sitio para la descarga de las aguas tratadas.
- Instalar una antorcha para la quema del biogás obtenido del reactor UASB para evitar la contaminación ambiental.
- Tras la investigación realizada en el prototipo mediante cargas con estiércol de ganado se sugiere construir un digestor tipo laguna con

recubrimiento de membrana el cual permite realizar la carga de diferentes tipos de materia orgánica para de esta manera lograr una alta producción de biogás.

- Promover la utilización de este tipo de tecnología para el tratamiento de aguas residuales mediante charlas en congresos referentes a temas de protección del medio ambiente, con el apoyo de instituciones gubernamentales como el Ministerio del Ambiente.
- Seguir el manual de operación del prototipo para su correcto funcionamiento. Dar el mantenimiento adecuado a los equipos para evitar su deterioro prematuro.
- Una vez arrancado el prototipo se lo debe mantener en funcionamiento continuo es decir cargarlo diariamente y controlar los parámetros necesarios para que la producción de biogás sea estable.
- Se recomienda utilizar el prototipo a futuro como equipo de laboratorio para realizar diferentes pruebas de carga de materia orgánica mediante las cuales se podrán obtener datos importantes como son: producción de biogás, calidad de biol, etc.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

### **LIBROS:**

- Metcalf & Eddy, “Ingeniería Sanitaria, Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales” 2da edición, Ed. Labor S.A. México, D.F., 1985, 1995, 969 pp.
- Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás. Dipl. Ing. Sanitario – Ing. Civil Gabriel Moncayo

Romero, Ed. Aqualimpia Beratende Ingenieure. Alemania, Diciembre 2011.

- Dimensionamiento de plantas depuradoras UASB. Dipl. Ing. Sanitario – Ing. Civil Gabriel Moncayo Romero, Ed. Aqualimpia Beratende Ingenieure. Alemania, Enero 2011.
- Biogas from waste and renewable, Dieter Deublein y Angélica Steinhauser, 2008 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Ramalho Sette Rubens. ,“Introduction to wastewater treatment process”, 2da edición Ed. Reverté S.A. Barcelona, España, 1993, 667 pp.
- Romero Rojas Jairo Alberto., “Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización”, 3ra edición, Ed. Alfaomega., México, D.F, 1999, 281 pp.

#### **PÁGINAS DE INTERNET:**

- [http://www.aqualimpia.com/Planificacion%20y%20Construccion%20de%20Plantas%20Depuradoras\\_Biodigestores.htm](http://www.aqualimpia.com/Planificacion%20y%20Construccion%20de%20Plantas%20Depuradoras_Biodigestores.htm)
- <http://www.recaiecuador.com/Biblioteca%20Ambiental%20Digital/TULAS.pdf/>
- <http://www.pedrollo.com/es/productos-catalogo.php?page=3>
- [http://www.nicotinamedia.com/plastex/aplicaciones\\_construccion/aplicaciones\\_construccion\\_planchas.html](http://www.nicotinamedia.com/plastex/aplicaciones_construccion/aplicaciones_construccion_planchas.html)
- <http://www.fullgauge.com/es/es/literatura.asp?codigo=109>

#### **TESIS ELABORADAS:**

- Ponce Abad Ana Paula, “Comportamiento de un reactor anaerobio de lecho fijo en el tratamiento de aguas residuales de una producción de bebidas carbonatadas”. UNAM, México D.F. 2001.

- Mejia Mendoza Jorge Humberto, “Diseño, Construcción de un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales”, FCyT – UMMS, Cochabamba - Bolivia, 1999.

# ANEXOS

# ANEXO A

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		<sup>8</sup> Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub> .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10

<sup>8</sup> Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante Visibles	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0

Continua...

Continuación...

TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600

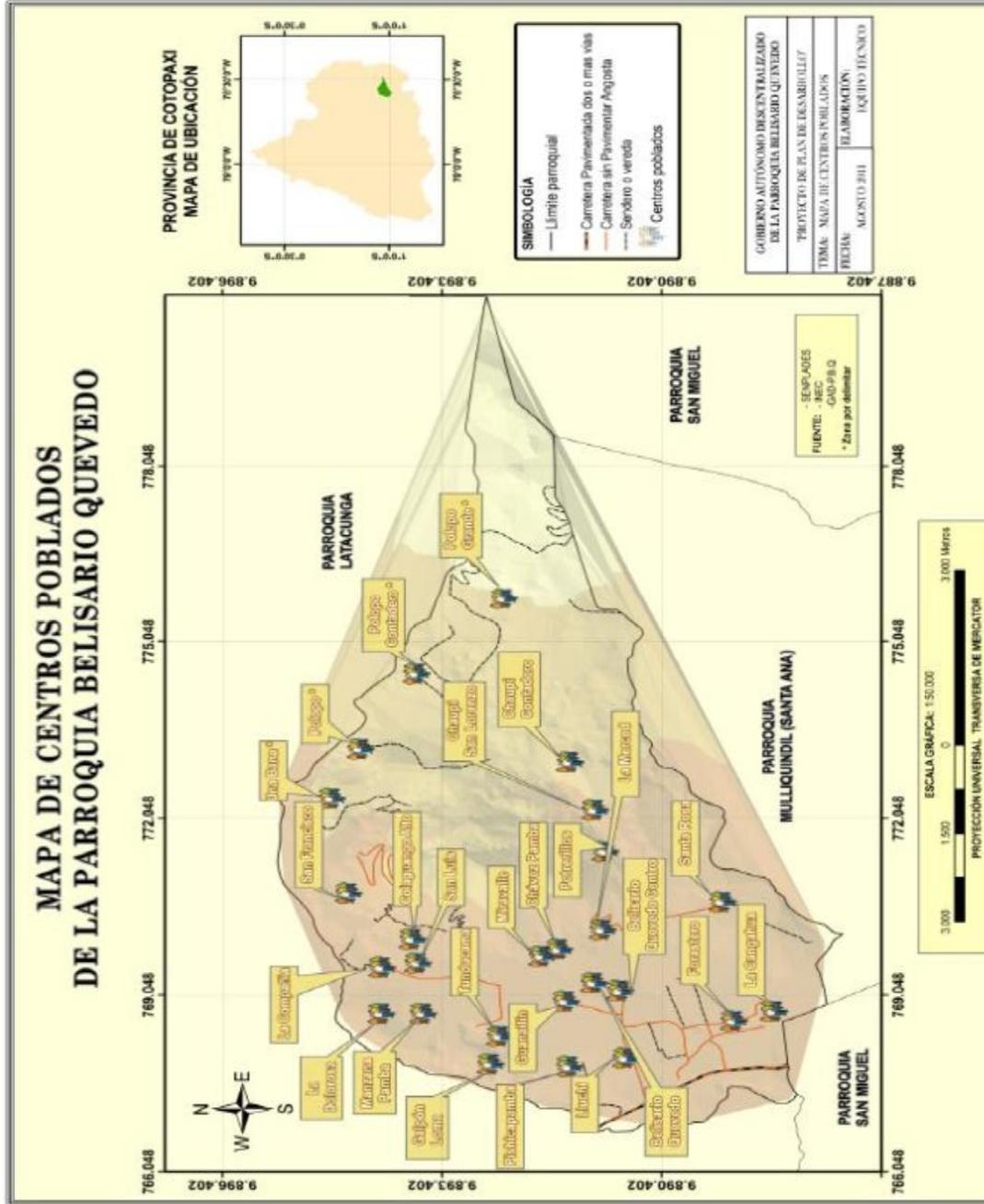


## PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	1000
Sulfitos	SO <sub>3</sub>	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

\* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

# ANEXO B



La norma alemana utiliza los siguientes parámetros:

$$V_{BF} = V_{BF,DBO} + V_{BF,NTK} (m^3)$$

$V_{BF}$  = Volúmen del biofiltro

$V_{BF,DBO}$  = Volúmen para degradación carga orgánica DBO ( $m^3$ )

$V_{BF,NTK}$  = Volúmen para desnitrificación ( $m^3$ )

Cargas orgánicas volumétricas = 0,40 – 0,80 (KgDBO/ $m^3$ .d)

Cargas para desnitrificación = (0,10 – 0,15 KgNTK/ $m^3$ .d)

$A_{BF}$  = Area biofiltro ( $m^2$ )

$$A_{BF} = Q \left( 1 + \frac{R_c}{Q_a} \right) (m^2)$$

$$Q = \text{Caudal} \left( \frac{m^3}{h} \right)$$

$R_c$  = Factor de recirculación

$$Q_a = \text{Tasa de aplicación superficial } 10 - 25 \left( \frac{m^3}{m^2 \cdot d} \right)$$

$$H_{BF} = \frac{V_{BF}}{A_{BF}}$$

$H_{BF}$  = Altura del biofiltro.

$$F = \frac{(1 + r)}{\left(1 + \frac{r}{10}\right)^2}$$

F= Factor de recirculación

R= coeficiente de recirculación

$$E = \frac{1}{\left( (1 + 0,443) \left( \frac{Q \cdot CDBO}{V_{BF} \cdot F} \right)^2 \right)}$$

E= Eficiencia de remoción %

Q= Caudal (m<sup>3</sup>/d)

CDBO= Carga DBO (mg/l)

V<sub>BF</sub>= Volumen de biofiltro (m<sup>3</sup>)

## RX 2-3-4-5 "VORTEX"

### Electrobomba sumergible para DRENAJE

➔ para aguas sucias



#### CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **380 l/min** (22.8 m<sup>3</sup>/h)
- Altura manométrica hasta **13 m**

#### LIMITES DE UTILIZO

- Profundidad máxima de utilizo hasta **10 m** (con cable de alimentación de longitud adecuada)
- Temperatura máxima del fluido hasta **+50 °C** (Temperatura del fluido hasta + 90 °C para servicio intermitente por un periodo máximo de 3 minutos)
- Pasaje máximo de cuerpos sólidos en suspensión:
  - hasta **Ø 20 mm** para RX 2/20, RX 3/20
  - hasta **Ø 40 mm** para RX 4/40, RX 5/40
- Nivel de vaciado máximo:
  - **25 mm** del fondo para RX 2/20, RX 3/20
  - **50 mm** del fondo para RX 4/40, RX 5/40
- Funcionamiento continuo **S1**

#### EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

Se suministran completas de:

- cable de alimentación de longitud **5 m** RX 2/20, RX 3/20
- cable de alimentación de longitud **10 m** RX 4/40, RX 5/40
- Interruptor con flotador externo para versiones monofásicas

EN 60335-1  
IEC 60335-1  
CEI 61-150

EN 60034-1  
IEC 60034-1  
CEI 2-3



#### CERTIFICACIONES



#### EMPLEOS E INSTALACIONES

La serie **RX-VORTEX** son adecuadas para el drenaje de **aguas sucias**. Las soluciones constructivas empleadas garantizan seguridad en el funcionamiento, incluso para utilizo continuo, gracias al enfriamiento total del motor.

Se aconseja para el utilizo doméstico, para el vaciado de aguas sucias con presencia de cuerpos sólidos en suspensión.

#### PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Modelo comunitario registrado nº 342159-0013

#### EJECUCION BAJO PEDIDO

- Sello mecánico especial
- Electrobombas con cable de alimentación de **10 m**.
  - ➔ N.B. el cable de alimentación de 10 m. es obligatorio para el utilizo externo según la normativa EN 60335-2-41
- Electrobombas monofase sin interruptor y flotador externo
- Otros voltajes

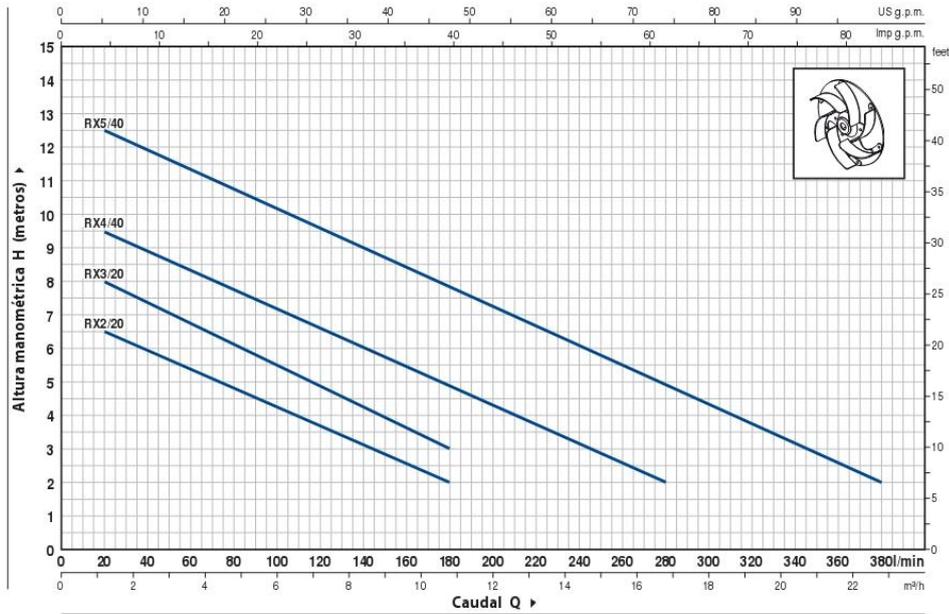
#### GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta



CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n=3450 1/min



MODELO		POTENCIA		Q	Flow Rate (m³/h)														
Monofásica	Trifásica	kW	HP		0	1.2	2.4	3.6	4.8	6	7.2	8.4	9.6	10.8	13.2	16.8	20.4	22.8	
RXm 2/20	-	0.37	0.50	l/min	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	220	280	340	380	
RXm 3/20	-	0.55	0.75	H metros	7	6.5	6	5.4	4.8	4.3	3.7	3.1	2.5	2					
RXm 4/40	RX 4/40	0.75	1		9	8	7.5	6.5	6	5.5	4.7	4.2	3.5	3					
RXm 5/40	RX 5/40	1.1	1.5		10	9.5	8.7	8.5	7.7	7	6.5	6	5.5	4.7	3.7	2			
					13	12.5	12	11.5	10.7	10	9.5	9	8.3	7.7	6.5	5	3	2	

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 App. A.

## RX 2-3 "VORTEX"

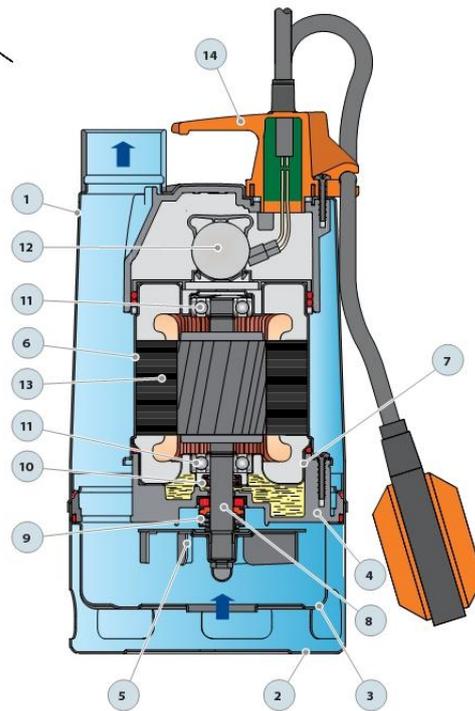
POS.	COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS
1	CUERPO BOMBA	Acero inoxidable AISI 304, con boca roscada ISO 228/1
2	REJILLA DE ASPIRACION	Acero inoxidable AISI 304
3	TAPA DE ASPIRACION	Acero inoxidable AISI 304
4	DIFUSOR	Tecnopolímero
5	RODETE	Tipo VORTEX en acero inoxidable AISI 304
6	CAJA PORTAMOTOR	Acero inoxidable AISI 304
7	TAPA MOTOR	Acero inoxidable AISI 304
8	EJE MOTOR	Acero inoxidable EN 10088-3 - 1.4104
9	DOBLE SELLO EN EL EJE CON CAMARA DE ACEITE INTERCALADA	
	<i>Sello</i>	<i>Eje</i>
	<i>Modelo</i>	<i>Diámetro</i>
	AR-12R SIC	Ø 12 mm
		<i>Materiales</i>
		<i>Anillo fijo</i>
		Cerámica
		<i>Anillo móvil</i>
		Carburo de silicio
		<i>Elastómero</i>
		NBR
10	ANILLO DE RETENCION	Ø 12 x Ø 19 x H 5 mm
11	RODAMIENTOS	6201 ZZ / 6201 ZZ
12	CONDENSADOR	
	<i>Electrobomba</i>	<i>Capacidad</i>
	<i>Monofásica</i>	<i>(220V)</i>
		<i>(110 V o 127 V)</i>
	RXm 2/20	10 µF 450 VL
		16 µF 250 VL
	RXm 3/20	14 µF 450 VL
		16 µF 250 VL

### 13 MOTOR ELECTRICO

- Monofásica 220 V - 60 Hz con protección térmica incorporada en el bobinado
- Aislamiento: clase F.
- Protección: IP 68.

### 14 GRUPO MANILLA (resinado en un bloque único)

- Completo de:
- Cable de alimentación de **5 metros** de tipo "H07 RN-F" con conector Schuko
  - Interruptor con flotador externo.



Parámetro	Valor	Valor referencial
pH		6.8 a 7.2
DBO <sub>5</sub> y DQO		DQO/DBO <sub>5</sub> = 2 a 3
Carbono/Nitrógeno/Fósforo		C/N = 30      N/P = 5
Detergentes		Concentraciones entre 600 y 900 mg/l
NH <sub>4</sub> +NH <sub>3</sub> disuelto		A concentraciones de NH <sub>3</sub> > a 150 mg/l la digestión puede inhibirse.  Como nitrógeno amoniacal (NH <sub>4</sub> + NH <sub>3</sub> ) a la concentración por encima de 500 mg/l y PH > 7.5 puede ser inhibidor.

# ANEXO C



[www.fullgauge.com](http://www.fullgauge.com)  
[www.fullgauge.com.br](http://www.fullgauge.com.br)  
[www.fullgauge.com/espanhol](http://www.fullgauge.com/espanhol)  
 Full Gauge Controls®  
 +55 51 34753308  
[sales@fullgauge.com](mailto:sales@fullgauge.com)

**!**

A retirada ou substituição do painel adesivo frontal, bem como alterações no circuito eletrônico por parte do cliente, implicarão no cancelamento da garantia.

The withdrawal or substitution of the adhesive panel frontal as well as alterations in the electronic circuit on the part of the user implies in the cancellation of guarantee.

La retirada o sustitución del panel adhesivo frontal, bien como alteraciones en el circuito electrónico por parte del cliente, implicarán en la anulación de la garantía.

**!**

**IMPORTANTE**

Conforme capítulos das normas NBR5410 e IEC03364:

- 1: Instale protetores contra sobretensões na alimentação;
- 2: Cabos de sensores e de sinais de computador podem estar juntos, porém não no mesmo eletroduto por onde passam alimentação elétrica e acionamento de cargas;
- 3: Instale supressores de transientes (filtro RC) em paralelo às cargas, como forma de aumentar a vida útil dos relés.

Mais informações contate o nosso departamento de Eng. de Aplicação através do e-mail [eng-aplicacao@fullgauge.com.br](mailto:eng-aplicacao@fullgauge.com.br) ou pelo telefone (51) 34753308

**!**

**IMPORTANTE**

According to NBR5410 and IEC03364 standards:

- 1: Install protectors against overloads on power supply;
- 2: Sensor cables and computer signs can be together, however not in the same electric ducts where there are power supply and load drive;
- 3: Install suppressors (RC filters) in parallel to loads to increase the relays endurance.

For more information contact our Application Eng. Department through e-mail [support@fullgauge.com](mailto:support@fullgauge.com) or dial +55 51 34753308

**!**

**IMPORTANTE**

Según capítulos de las normas NBR5410 e IEC03364:

- 1: Instale protectores contra sobretensiones en la alimentación;
- 2: Cables de sensores y de señales de computadores pueden estar juntos, sin embargo no en la misma conducción por donde pasan alimentación eléctrica y activación de cargas;
- 3: Instale supresores de transientes (filtro RC) en paralelo a las cargas, de manera a aumentar la vida útil de los relés.

Mayores informaciones contáctenos nuestro departamento de Ing. de Aplicación por medio del e-mail [support@fullgauge.com](mailto:support@fullgauge.com) o por teléfono +55 51 34753308

**→ DESCRICÃO**

Os controladores da família TIC-17 são econômicos, de fácil instalação e aplicação. Podem ser usados tanto para controlar aquecimento como para refrigeração.

Aplicação: Boilers, fornos, aquecedores, freezers, câmaras, balcões frigoríficos

**→ ALTERAÇÃO DOS PARÂMETROS**

Os parâmetros estão protegidos por um código de acesso (exceto o setpoint), o qual deve ser inserido para que se possa efetuar as alterações.

Para entrar com o código de acesso:

- Pressione **[On]** por 10 segundos e aparecerá **[Cd]**.
- Aguarde 2 segundos e aparecerá **[000]**.
- Utilize a tecla **[+]** para inserir o código 023 (vinte e três). Esta operação deve ser realizada dentro de 4 segundos, caso contrário a indicação da temperatura ambiente retorna automaticamente.
- Após inserir o código de acesso:
- Pressione **[+]** tantas vezes quanto necessário, até acessar o parâmetro desejado.
- Aguarde 2 segundos e então aparecerá o valor configurado.
- Utilize a tecla **[+]** para modificar o valor.
- Aguarde 4 segundos para que o novo valor seja gravado e o instrumento retorne à operação normal (indicação de temperatura).

**NOTA: Após inserido o código de acesso, tome cuidado para não deixar a tecla [On] ociosa (sem ser pressionada) por mais do que 15 segundos entre a alteração de um parâmetro e outro.**

Caso isso aconteça aparecerá **[Err]** e o acesso aos ajustes é bloqueado automaticamente, requerendo que seja inserido o código novamente para efetuar alterações.

**→ ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS**

- Alimentação direta: 127 ou 220 Vac (50/60 Hz) 12 ou 24Vac/dc
- Temperatura de Controle: -50 a 105 °C
- Resolução: 0.1°C (entre -10 e 100 °C) e 1 °C no restante da faixa
- Corrente máxima: 10 Ampères (carga resistiva)

Obs: Os modelos TIC-17RGT e TIC-17C podem ser fornecidos com relé 16 A

- Dimensões: TIC-17RGT: 70 x 28 x 60 mm
- TIC-17C: Diâmetro → 60 mm Profundidade → 40 mm
- TIC-17S: 76 x 60 x 38 mm
- Temperatura de operação: 0 a 60 °C
- Umidade de operação: 10 a 90% UR (sem condensação)

**→ COMO CONFIGURAR**

**AJUSTE DA TEMPERATURA DE CONTROLE (SETPOINT):**

- Pressione **[On]** por 2 segundos e aparecerá **[SP]**
- Aguarde 2 segundos e aparecerá a temperatura de controle ajustada
- Utilize **[+]** para modificar o valor
- Aguarde 4 segundos para gravar e retornar à operação normal

**→ SINALIZAÇÕES**

**RELAY** - Contato NA energizado

**[Err]** - Sensor desconectado ou temperatura fora da faixa especificada

**→ FUNÇÕES AVANÇADAS**

Parâmetros de configuração protegidos por código de acesso:

Fun	Descrição	Min	Max	Unid	Padrão
<b>[OP]</b>	Modo de operação	0-refrig.	1-aquec.	-	0
<b>[dF]</b>	Diferencial (histerese)	0.1	20.0	°C	2.0
<b>[dt]</b>	Retardo mínimo para ligar a saída	0	999	seg.	0
<b>[dF]</b>	Offset (calibração local)	-5.0	5.0	°C	0.0
<b>[Lo]</b>	Mínimo setpoint permitido ao usuário final	-50	105	°C	-50
<b>[Hi]</b>	Máximo setpoint permitido ao usuário final	-50	105	°C	105

**[OP]** Esta função permite configurar o modo de operação do instrumento (aquecimento ou refrigeração)

**[dF]** É a diferença de temperatura (histerese) entre LIGAR e DESLIGAR a saída de controle "RELAY"

**[dt]** É o tempo mínimo que a saída do controlador permanecerá desligada. Esse retardo inicia no momento em que a saída é desligada.

**[dF]** É o deslocamento de indicação. Permite compensar eventuais desvios na leitura de temperatura

**[Lo]** Faixa permitida ao usuário final para ajuste do setpoint (bloqueio de mínima)

**[Hi]** Faixa permitida ao usuário final para ajuste do setpoint (bloqueio de máxima)

**→ DESCRIPTION**

The controllers of TIC-17 family have easy installation and application. It can be used to control heating or refrigerating.

Application: Boilers, ovens, heaters, freezers, counters and refrigerated balconies.

**→ TECHNICAL SPECIFICATIONS**

- Power supply: 127 or 220 Vac (50/60 Hz) 12 or 24Vdc
- Control temperature: -50 to 105 °C
- Resolution: 0.1°C (between -10 and 100 °C) and 1 °C outside this range
- Load current: 10 A (resistive load)

Obs: Both the models TIC-17RGT and TIC-17C can be supplied with 16 A relay

- Dimensions: TIC-17RGT: 70 x 28 x 60 mm
- TIC-17C: Diameter → 60 mm Depth → 40 mm
- TIC-17S: 76 x 60 x 38 mm
- Operation temperature: 0 to 60 °C
- Operation humidity: 10 to 90% RH (without condensation)

**→ HOW TO CONFIGURE**

**CONTROL TEMPERATURE (SETPOINT):**

- Press **[On]** for 2 seconds and **[SP]** will appear.
- Wait 2 seconds and the adjusted control temperature will appear.
- Use **[+]** to change the value.
- Wait 4 seconds to record and return to the normal operation.

**→ ALARMS**

**RELAY** - Turned on NO contact

**[Err]** - Detached sensor or temperature out of the specified range

**→ ADVANCED FUNCTIONS**

Configuration parameters:

Fun	Description	Min	Max	Unit	Default
<b>[OP]</b>	Operation mode	0-refrig.	1-heat.	-	0
<b>[dF]</b>	Differential (hysteresis)	0.1	20.0	°C	2.0
<b>[dt]</b>	Minimum delay to turn on the output	0	999	sec.	0
<b>[dF]</b>	Offset (local calibration)	-5.0	5.0	°C	0.0
<b>[Lo]</b>	Minimum set allowed to the final user	-50	105	°C	-50
<b>[Hi]</b>	Maximum set allowed to the final user	-50	105	°C	105

**[OP]** This function allows to configure the operation mode of the instrument (heating or refrigerating)

**[dF]** It is the difference of temperature (hysteresis) between turn on and turn off the "RELAY" control output.

**[dt]** It is the minimum time that the controller output will keep turned off. This delay starts when the output is turned off.

**[dF]** It allows compensate eventual shunt in the temperature reading.

**[Lo]** Allowed range to the final user to adjust setpoint (minimum locking).

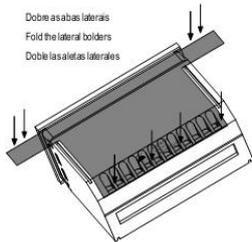
**[Hi]** Allowed range to the final user to adjust setpoint (maximum locking).

VINIL PROTETOR/PROTECTIVE VINILADHESIVO PROTECTOR

Protege os instrumentos instalados em locais sujeitos a respingos d'água, como em balcoes frigoríficos, por exemplo. Este vinil adesivo acompanha o instrumento, dentro da sua embalagem.  
Faça a aplicação somente após concluir as conexões elétricas.

This adhesive vinyl (included inside the packing) protects the instruments against water drippings, as in commercial refrigerators, for example. Do the application after finishing the electrical connections.

Protege los instrumentos instalados en locales sometidos a gotos de agua, como en refrigeradores comerciales, por ejemplo. Este adhesivo acompaña el instrumento, adentro de su empaque.  
Haga la aplicación solamente después de concluir las conexiones eléctricas.



DESCRIPCIÓN

Los controladores de la familia TIC-17 son económicos, de fácil instalación y aplicación. Pueden ser utilizados tanto para controlar calefacción como para refrigeración.  
Aplicación: Bóilers, hornos, calefactores, freezers, cámaras, refrigeradores comerciales.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Alimentación: 127 o 220 Vac (50/60 Hz) 12 o 24 Vacido;
- Temperatura de control: -50 hasta 105 °C;
- Resolución: 0,1 °C (entre -10 y 100 °C) y 1 °C en lo demás;
- Corriente máxima: 10 Amperes (carga resistiva)
- Obs: Los modelos TIC-17RGT e TIC-17C pueden ser provistos con relé de 16A.
- Dimensiones: Formato Rectangular: 70 x 28 x 60 mm Formato Cilíndrico: Diámetro → 60 mm Profundidad → 40 mm
- Temperatura de operación: 0 hasta 60 °C
- Humedad de operación: 10 hasta 90% HR (no condensante)

COMO CONFIGURAR

AJUSTE DE LA TEMPERATURA DE CONTROL (SETPOINT):

- Presione **ENTER** por 2 segundos y aparecerá **SP**.
- Aguarde 2 segundos y aparecerá la temperatura de control ajustada.
- Utilice **UP** para alterar el valor.
- Aguarde 4 segundos para grabar y volver a la operación normal.

ALTERACIÓN DE LOS PARÁMETROS:

Los parámetros están protegidos por un código de acceso (excepto el setpoint), el cual debe ser ingresado para que se pueda efectuar las alteraciones.

Para ingresar el código de acceso:

- Presione **ENTER** por 10 segundos y aparecerá **Code**.
- Aguarde 2 segundos y aparecerá **0000**.
- Utilice la tecla **ENTER** para ingresar el código 023 (veintitrés). Esta operación debe ser realizada dentro de 4 segundos, de lo contrario la indicación de la temperatura ambiente retorna automáticamente.
- Después de ingresar el código de acceso:
- Presione **ENTER** las veces que se haga necesario, hasta acceder al parámetro deseado.
- Aguarde 2 segundos y entonces aparecerá el valor configurado.
- Utilice la tecla **ENTER** para alterar el valor.
- Aguarde 4 segundos para que el nuevo valor sea grabado y el instrumento vuelva a la operación normal (indicación de temperatura).

NOTA: Después de ingresado el código de acceso, tenga cuidado para no dejar la tecla **ENTER** oscilante (sin ser presionada) por más de 15 segundos entre la alteración de un parámetro y otro. Caso eso ocurra aparecerá **Err** y el acceso a los ajustes es bloqueado automáticamente, requiriendo que sea ingresado el código nuevamente para efectuar alteraciones.

SEÑALIZADORES

FUNCIONES AVANZADAS

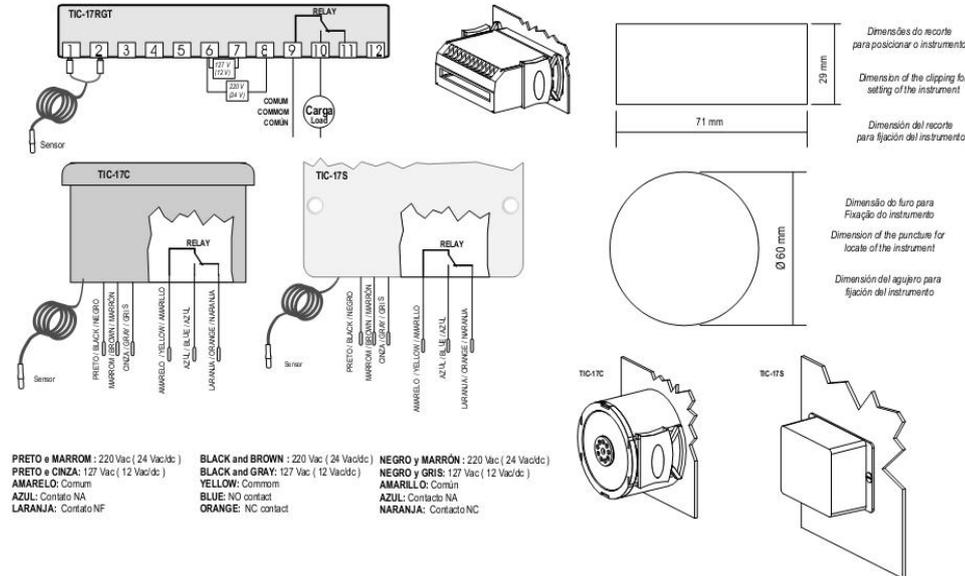
- RELAY** - Contacto NA energizado
- Err** - Sensor desconectado o temperatura fuera del rango especificado

Parámetros de configuración protegidos por código de acceso:

Fun	Descripción	Min	Max	Unid	Default
<b>OP</b>	Modo de operación	0:refrig	1:calefac	-	0
<b>dF</b>	Diferencial (histeresis)	0.1	20.0	°C	2.0
<b>dL</b>	Retardo mínimo para conectar la salida	0	999	seg	0
<b>DF</b>	Offset (calibración local)	-5.0	5.0	°C	0.0
<b>Lp</b>	Mínimo setpoint permitido al usuario final	-50	105	°C	-50
<b>Hl</b>	Máximo setpoint permitido al usuario final	-50	105	°C	105

- OP** Esta función permite configurar el modo de operación del instrumento (calefacción o refrigeración)
- dF** Es la diferencia de temperatura (histeresis) entre CONECTAR y DESCONECTAR la salida de control "RELAY"
- dL** Es el tiempo mínimo que la salida del controlador permanecerá desconectada. Ese retardo inicia en el momento en que la salida es desconectada.
- DF** Es el comitamiento de indicación. Permite compensar eventuales errores en la lectura de la temperatura
- Lp** Límite permitido al usuario final para ajuste del setpoint (bloqueo de mínimo)
- Hl** Límite permitido al usuario final para ajuste del setpoint (bloqueo de máximo)

Esquemas de ligação para o TIC-17 / Wiring diagram for TIC-17 / Esquema de conexión para el TIC-17



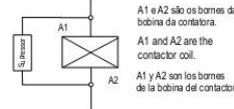
- PRETO e MARRON : 220 Vac ( 24 Vacido )
- PRETO e CINZA : 127 Vac ( 12 Vacido )
- AMARELO: Comum
- AZUL: Contato NA
- LARANJA: Contato NF
- BLACK and BROWN : 220 Vac ( 24 Vacido )
- BLACK and GRAY: 127 Vac ( 12 Vacido )
- YELLOW: Comum
- BLUE: NO contact
- ORANGE: NC contact
- NEGRO y MARRÓN : 220 Vac ( 24 Vacido )
- NEGRO y GRIS: 127 Vac ( 12 Vacido )
- AMARILLO: Común
- AZUL: Contacto NA
- NARANJA: Contacto NC

Compressor de refrigeração ou válvula solenóide. Acima da corrente especificada utilize contactor.  
Refrigeration compressor or heating resistance. Above specified current use a contactor.  
Compresor de refrigeración o válvula solenoide. Arriba de la corriente especificada utilice contactor.

Nota: Em ambos os formatos, o comprimento do cabo do sensor pode ser aumentado pelo próprio usuário, em até 200 metros, utilizando cabo 2 x 24 AWG. Para imersão em água utilize poço termométrico.  
Note: In both formats, sensor cable length can be increased by the user until 200 meters, using 2 x 24 AWG cable. For immersion in water use thermometric well.

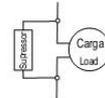
Nota: En ambos formatos, el largo del cable del sensor puede ser ampliado por el propio usuario, hasta 200 metros utilizando cable 2 x 24 AWG. Para inmersión en agua utilice pozo termométrico.

Esquema de ligação de supressores em contactoras  
Wiring diagram of suppressor in contactors  
Esquema de conexión de supresores en contactores



A1 e A2 são os bornes da bobina da contactora.  
A1 and A2 are the contactor coil.  
A1 y A2 son los bornes de la bobina del contactor

Esquema de ligação de supressores em cargas acionamento direto  
Wiring diagram of suppressor linking in loads direct drive  
Esquema de conexión de los supresores en cargas de activación directa



Para acionamento direto: leve em consideração a corrente máxima especificada.  
For direct drive, consider the maximum specified current.

Para activación directa hay que llevar en consideración la corriente máxima especificada.



ENSAYOS  
No. OAE LE2 C 04-001

INFORME CESAQ-PUCE No. 11694-1

Página 1 de 2

**CESAQ - PUCE**  
**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**CENTRO DE SERVICIOS AMBIENTALES Y QUÍMICOS**  
**INFORME DE ANÁLISIS No. 11694-1**

Datos generales:

Cliente: ALMEIDA OÑATE JUAN CARLOS

Dirección: ESPE LATACUNGA

Teléfono:

Tipo de muestra: AGUA RESIDUAL

Toma de Muestra:(No cubierta por las acreditaciones)

FECHA DE MUESTREO: 04/09/2012

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: AGUAS RESIDUALES ESPE BELISARIO QUEVEDO

MUESTREADO POR: ALMEIDA OÑATE JUAN CARLOS

FECHA RECEPCIÓN 05/09/2012

INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:CUMPLE

Norma de Comparación: TULAS, LIBRO VI, ANEXO 1, TABLA 12. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

Parámetros analizados:

AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	NORMA <sup>N1</sup>	OBSERVACIONES
	<b>AGUAS Y SUELOS</b>					
1.2	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	CP-PEE-A019	mg/L	63	100	CUMPLE
1.2	Demanda Química de Oxígeno	CP-PEE-A020	mg/L	119	250	CUMPLE
2(*)	Nitratos	CP-PEE-A070	mg/L	2,4	10,0	CUMPLE
2(*)	Nitritos	CP-PEE-A070	mg/L	2,3	10,0	CUMPLE
2(*)	Sulfatos	CP-PEE-A070	mg/L	83,2	1000,0	CUMPLE

Fecha de Realización del Ensayo

La muestra ingresa al CESAQ-PUCE el día, 5 de septiembre del 2012. Los análisis fueron realizados en el periodo comprendido entre el 3 de septiembre del 2012 y el 13 de septiembre del 2012.

*El presente informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo*

*El presente informe no debe reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESAQ - PUCE*

*Las incertidumbres de los resultados para los ensayos que se encuentran dentro del alcance de acreditación se encuentran disponibles en los registros del CESAQ - PUCE*



## ACREDITACIONES

No. OAE LE2 C 04-001

INFORME CESAQ-PUCE No. 11694-1

Página 2 de 2

## NOTAS

U	Incertidumbre	NV	No Viable
N.E.	No. Evaluable	NA	No Aplica
N.D.	No. Disponible	< =	Menor a
N1	Norma de Comparación	La identificación de la muestra es dada por el cliente	
N2	No es posible evaluar el cumplimiento debido a que el límite superior del laboratorio es inferior a la norma		
N3	No es posible evaluar el cumplimiento debido a que el límite de cuantificación del laboratorio es superior a la norma		
Integridad de la muestra se refiere al cumplimiento de las normas de envase y preservación			
Los ensayos de suelos se realizan en materia seca, a excepción de pH y Conductividad			

## ACREDITACIONES

AA	ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
1	ENAC No. 415/LE 929
2	OAE LE2 C 04-001
3	OAE LE C 10-011 (Realizados en Diserlab - PUCE)
*	Los ensayos marcados no están incluidos en el alcance de acreditación OAE LE2 C 04-001
(*)	Los ensayos marcados no están incluidos en el alcance de acreditación ENAC 415/LE 929

## OBSERVACIONES ANALITICAS

--

Revisado y Aprobado por

Lcda. Alejandra Hidalgo  
COORDINADORA DE AREA

Quito, 13 de septiembre del 2012



El presente informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo

El presente informe no debe reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESAQ - PUCE

Las incertidumbres de los resultados para los ensayos que se encuentran dentro del alcance de acreditación se encuentran disponibles en los registros del CESAQ - PUCE

CESAQ - PUCE - CENTRO DE SERVICIOS AMBIENTALES Y QUÍMICOS  
Av. 12 de Octubre y Patria Telf: (593-2) 2991-712 Telefax: (593-2) 2991-709 www.cesaq.com.ec  
Quito - Ecuador

Latacunga, Enero de 2013

El presente trabajo fue desarrollado en su totalidad por:

---

JUAN CARLOS ALMEIDA OÑATE

APROBADO POR:

---

ING. WILSON SANCHEZ O.  
DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICADO POR:

---

DR. RODRIGO VACA  
SECRETARIO ACADÉMICO