

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

"Diseño de un banco de pruebas para un proceso estándar de fermentación y de un biodigestor familiar para uso en zonas rurales de la provincia del Guayas"

INFORME DE LA DEFINICIÓN DEL PROYECTO
Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

David Vicente Echeverría Nivelá

José Fernando Saca LLuilema

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos el equipo de trabajo, por eso agradecemos en primer lugar a Dios y a nuestros padres quienes a lo largo de nuestra vida han apoyado y motivado nuestra formación académica. A nuestros directores de tópicos, Msc. Carola Sánchez y PhD. Freddy Jervis, por su predisposición y tiempo para prestarnos su ayuda en el desarrollo de este proyecto. A nuestros profesores a quienes les debemos gran parte de nuestros conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanzas. A nuestros amigos y compañeros quienes con sus consejos y palabras de aliento nos brindaron su apoyo día a día, y finalmente un eterno agradecimiento a la ESPOL, esta prestigiosa universidad la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, para prepararlos para un excelente futuro profesional.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

David Vicente Echeverría Nivelá

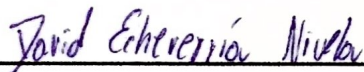
Jose Fernando Saca LLuilema

MSc. Carola Tatiana Sánchez Zurita

PhD. Freddy Xavier Jervis Calle

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

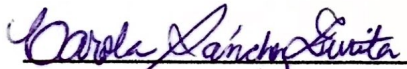
Estamos también de acuerdo que el vídeo de la presentación oral es de plena propiedad de la FIMCP.



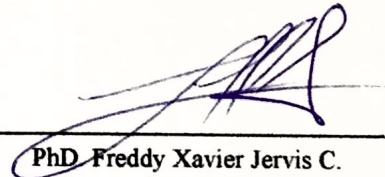
David Vicente Echeverría N.



José Fernando Saca LL.



MSc. Carola Tatiana Sánchez Z.



PhD. Freddy Xavier Jervis C.

RESUMEN

Con el cambio de la matriz energética en nuestro país Ecuador, se está incrementando el uso de energías renovables para su desarrollo. La recuperación de energía a partir del uso de residuos y desperdicios orgánicos se está convirtiendo en una propuesta cada vez más factible. Una de estas alternativas es la producción de biogás, la cual puede ayudar al desarrollo de regiones rurales, y fortalecer la pequeña y mediana industria, colaborando así con el medio ambiente, debido a que es un proceso de carbono neutro, el cual consiste en balancear las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), con prácticas de reducción y compensación; permitiendo la independencia de los combustibles fósiles.

Debido a que nuestro país posee una base de datos, la cual no es muy amplia para realizar diseños con sistemas de digestión anaeróbica; para el desarrollo de este proyecto se basó el diseño en normas alemanas, siendo las más relevante la norma VDI 4630 - "Fermentación de materiales orgánicos, caracterización de sustratos, muestreo, recopilación de datos y pruebas de fermentación" y la norma DIN 38414-8 "Métodos estándar alemanes para el examen de agua, aguas residuales y lodos; lodos y sedimentos (grupo S); determinación de la susceptibilidad a la digestión anaeróbica (S 8)", que permitió realizar la caracterización de las diferentes biomásas identificadas en la ciudad de Guayaquil, a fin de contar con la suficiente información para diseñar sistemas de biogás para uso en ensayos de laboratorio y doméstico.

Este proyecto documenta tanto el diseño del sistema de generación de biogás para pruebas de laboratorio, que permite la simulación de un proceso estándar de fermentación; así como el desarrollo de un biodigestor familiar hecho de mangas de polietileno tubular para ser usado en las zonas rurales de la provincia del Guayas. Se detalla la selección de materiales de cada uno de los sistemas mencionados, sus respectivos componentes, protocolos de funcionamiento y el análisis de factibilidad técnico-económica.

Palabras Clave: Matriz energética, biogás, energías renovables, digestión anaeróbica, biomasa.

ABSTRACT

With the change of the energy matrix in our country Ecuador, it is increasing the use of renewable energies for development. Energy recovery through the use of waste and organic waste is becoming an increasingly feasible proposal. One such alternative is the production of biogas, which can help the development of rural regions and strengthening small and medium industry, thus helping the environment, because it is a carbon-neutral process, which is to balance carbon emissions (CO₂), with reduction practices and compensation; allowing independence from fossil fuels.

Because our country has a database , which is not very large for making designs through anaerobic systems management; the development of the project design was based on German standards , the most important , the VDI 4630 standard - " fermentation organic materials , substrates characterization , sampling , data collection and testing of fermentation " and DIN 38414-8 " German standard Methods for the Examination of water, waste water and sludge , sludge and sediments (group S) ; determining susceptibility to anaerobic digestion (S8) "that allowed the characterization of the different biomass Identified in the city of Guayaquil , in order to have enough information to design biogas systems for use in laboratory and domestic test.

This project documents both the design biogas generation system for laboratory testing, which allows the simulation of a standard fermentation process and the development of a family biodigester made of polyethylene tubular sleeves for use in rural areas of the province of Guayas. The selection of materials for each of the above systems, their components, operating protocols and analysis of technical and economic feasibility is detailed.

Keywords: *Energy matrix, biogas, renewable energy, anaerobic digestion, biomass.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE PLANOS.....	IX
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Definición del problema	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1. Objetivo General	1
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. Fundamentos teóricos de la producción de biogás	2
1.3.1. Definición de biogás.....	2
1.3.2. Producción del biogás.....	3
1.3.3. Factores de influencia en un proceso de fermentación anaeróbico	4
1.3.4. Tecnología empleada en la digestión anaeróbica	7
1.3.4.1. Carga	7
1.3.4.2. Manejo Bioquímico	8
1.3.4.3. Mezclado	8
1.3.4.4. Manejo del sustrato	9
1.3.5 Toma y preparación de muestras.....	9
1.3.5.1. Toma de muestras.....	10
1.3.5.2. Preparación de muestras.....	10
1.3.6. Control y conducción del proceso	11
CAPÍTULO 2.....	12
2. METODOLOGIA DEL DISEÑO	12

2.1. Descripción del proceso de fermentación.....	12
2.2. Metodologías de generación de biogás.....	13
2.2.1 Metodologías usadas a nivel de laboratorio.....	13
2.2.1.1. Descripción del método seleccionado para laboratorio	17
2.2.2. Descripción de biodigestor familiar (método de proceso continuo).....	18
2.2.2.1. Aplicaciones y características de funcionamiento.....	20
2.3. Descripción de las características de ciertos sustratos idóneos para la producción de biogás en Ecuador.	22
2.3.1. Biotomasas identificadas en la provincia del Guayas	22
2.3.2. Procedimiento de caracterización de sustratos.....	25
2.3.3. Determinación del volumen y de la calidad del biogás generado	26
2.4. Diseño de sistemas para determinar el potencial de generación de biogás.....	27
2.4.1. Sistema de fermentación para pruebas de laboratorio.....	27
2.4.1.1 Condiciones de Diseño.....	27
2.4.1.2 Dimensionamiento y selección de materiales bajo la Norma DIN 38414-S8	28
2.4.1.3 Protocolo de funcionamiento	31
2.4.2. Sistema de fermentación para un biodigestor familiar	35
2.4.2.1 Condiciones de diseño	36
2.4.2.2 Cálculo y selección de materiales y componentes	37
2.4.2.3 Protocolo de funcionamiento y mantenimiento	53
CAPÍTULO 3.....	54
3. RESULTADOS	54
3.1. Presentación y análisis de resultados	54
3.2. Factibilidad técnica-económica del diseño	56
3.2.1. Análisis técnico del proyecto.....	57
3.2.2. Análisis económico del proyecto.....	58
3.3. Discusión.....	61
CAPÍTULO 4.....	63
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
4.1. Conclusiones.....	63
4.2. Recomendaciones.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	66
APÉNDICE A.....	67
APÉNDICE B.....	70

ABREVIATURAS

AINIA	Instituto Tecnológico de la Industria Agroalimentaria
CONSEP	Consejo Nacional de Control de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas
DIN	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización)
DQO	Demanda química de oxígeno
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
GLP	Gas licuado de petróleo
INER	Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)
PNBV	Plan Nacional del Buen Vivir
PP	Polipropileno
PTFE	Politetrafluoroetileno
PVC	Policloruro de vinilo
VDI	Asociación de ingenieros alemanes

SIMBOLOGÍA

AR	Ancho de rollo
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
C ₄ H ₁₀	Butano
D	Diámetro del biodigestor
H*	Humedad
H ₂	Hidrógeno molecular
H ₂ O	Agua
H ₂ S	Sulfuro de hidrógeno
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
hPa	Hectopascal
K	grados Kelvin
kg	kilogramo
kWh	Kilowatt-hora
L	Longitud del biodigestor
mm	milímetro
ml	mililitro
m	metro
m ³	metro cúbico
mg	miligramo
mbar	milibar
MF _{inóculo}	Masa fresca del inóculo
MF _{sustrato}	Masa fresca del sustrato
MSO _{inóculo}	Materia seca orgánica del inóculo
MSO _{sustrato}	Materia seca orgánica del sustrato
NH ₃	Amoniaco
N ₂	Nitrógeno molecular
O ₂	Oxígeno molecular
PB	Producción de biogás
pH	Potencial de Hidrógeno
SV	Sólidos volátiles
ST	Sólidos totales
t	Tiempo
TR	Tiempo de retención
V _g	Volumen de gas generado
V _t	Volumen total del biodigestor
V _L	Volumen líquido
ρ	Densidad

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la descomposición anaeróbica	4
Figura 2. Tasa de crecimiento relativo de microorganismos vs Temperatura	5
Figura 3. Dependencia del pH de la actividad metanogénica.....	6
Figura 4. Esquema de la alimentación continua	8
Figura 5. Agitadores de eje largo.....	9
Figura 6. Planificación del muestreo.....	10
Figura 7. Preparación de la muestra	11
Figura 8. Banco de prueba según norma DIN 38414-S8.....	14
Figura 9. Banco de prueba según norma DIN EN ISO 11734	14
Figura 10. Banco de prueba: medición de volumen de gas con gas tubos de muestreo....	15
Figura 11. Banco de prueba: Medición del volumen de gas a través de bolsas de recolección	16
Figura 12. Esquema de la prueba de fermentación Hohenheimer (Jeringa)	16
Figura 13. Diagrama esquemático de la prueba de fermentación Bergedorfer	17
Figura 14. Diagrama esquemático del método seleccionado	18
Figura 15. Biodigestores de domo fijo, modelo CAMARTEC.....	19
Figura 16. Biodigestor semirrígido.....	19
Figura 17. Biodigestores de polietileno tubular.....	20
Figura 18. Formas típicas de las curvas de formación de gas.....	27
Figura 19. Ejemplo de la gráfica de la producción diaria de biogás en un proceso estándar de fermentación.....	34
Figura 20. Ejemplo de la gráfica de la producción total de biogás en un proceso estándar de fermentación.....	34
Figura 21. Ejemplo de la gráfica de la composición del biogás en un proceso estándar de fermentación.....	35
Figura 22. Esquema básico de un biodigestor y sistema tuberías para conducción de biogás hacia la cocina	36
Figura 23. Esquema de la metodología del diseño para biodigestor familiar	37
Figura 24. Rangos de producción potencial de biogás en función del residuo agroindustrial utilizado	45
Figura 25. Desenrollando el rollo de polietileno tubular.....	47
Figura 26. Corte del plástico.....	48
Figura 27. Colocación de toma para salida de biogás.....	48
Figura 28. Ajuste de toma para salida de biogás.....	49
Figura 29. Sellado de los extremos del plástico	49
Figura 30. Tubería de PVC para entrada y salida	49
Figura 31. Nivel del tubo de entrada con respecto al tubo de salida	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición promedio del Biogás	2
Tabla 2. Comparación de Características generales entre el Biogás y el Butano	3
Tabla 3. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica	6
Tabla 4. Nivel mínimo de oligoelementos químicos para la fase metanogénica	7
Tabla 5. Matriz de Decisión para sistema de pruebas de laboratorio	17
Tabla 6. Matriz de decisión para biodigestor familiar.....	20
Tabla 7. Características físicas de la biomasa	22
Tabla 8. Principales productos agrícolas encontrados en la provincia del Guayas	23
Tabla 9. Resumen del sector pecuario en la provincia del Guayas	24
Tabla 10. Rendimiento y composición teórica del biogás de acuerdo al tipo de sustrato ...	26
Tabla 11. Características del reactor según DIN 38414-S8	28
Tabla 12. Detalle del cuello 45/40 del frasco boca ancha	28
Tabla 13. Material y dimensiones del Tubo eudiómetro	29
Tabla 14. Características y dimensiones de Tubo de conexión.....	29
Tabla 15. Características y dimensiones del depósito de nivel	30
Tabla 16. Registro diario para prueba de laboratorio por lotes.....	33
Tabla 17. Tiempos de retención estimados bajo según la temperatura ambiente.....	38
Tabla 18 Producción de estiércol fresco diario	39
Tabla 19. Dimensiones de la zanja según el Ancho de Rollo (AR).....	46
Tabla 20. Materiales y herramientas para la construcción del biodigestor	47
Tabla 21. Materiales y herramientas para la línea de biogás	51
Tabla 22. Resultados del Diseño del Biodigestor familiar.....	55
Tabla 23. Costo de cada componente para la fabricación del banco de pruebas para laboratorio.....	58
Tabla 24. Componentes químicos del líquido de confinamiento (precios incluyen IVA)	60

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Banco de pruebas para laboratorio: Vista Isométrica
- PLANO 2 Banco de pruebas para laboratorio: Despiece
- PLANO 3 Banco de pruebas para laboratorio: Tapón
- PLANO 4 Banco de pruebas para laboratorio: Eudiómetro
- PLANO 5 Biodigestor familiar: Vista Isométrica
- PLANO 6 Biodigestor familiar: Despiece
- PLANO 7 Biodigestor familiar: Partes del biodigestor
- PLANO 8 Biodigestor familiar: Zanja
- PLANO 9 Biodigestor familiar: Tuberías para transporte de biogás

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el Ecuador apunta a la diversificación de la matriz energética con la incorporación de energías renovables, entre ellas, proyectos geotérmicos en etapas de investigación como Chachimbiro, Tufiño-Chiles, Chalupas y Chacana; centrales eólicas como la de Villonaco; proyectos fotovoltaicos como el de Puerto Ayora y Baltra, así como la producción de la gasolina Ecopaís y estudios en biomasa como el recientemente elaborado atlas bioenergético del Ecuador (realizado por ESIN consultora S.A., publicado por el INER, 2014. Ed.1). Con respecto a este último proyecto, el objetivo principal es incentivar el consumo de biogás como manera alternativa al consumo de GLP (gas licuado de petróleo) y derivados del petróleo. Además de degradar los desechos orgánicos y ser una tecnología amigable con el ambiente, permite contribuir con el cambio de la matriz energética del país.

1.1. Definición del problema

Debido a que el Ecuador no posee una base de datos de las diferentes biomásas producidas y del potencial de generación de biogás, se requiere la caracterización de las biomásas nativas de la región para contar con información pertinente para diseñar, construir y optimizar sistemas de biogás para uso doméstico e industrial.

La ESPOL demanda de un sistema que pueda ser utilizado tanto para pruebas de laboratorios como para biodigestores familiares, para lo cual se deberá diseñar los protocolos de funcionamiento y los sistemas basados en normas internacionales, a fin de realizar un análisis de factibilidad, tanto técnica como económica.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar los procedimientos de caracterización de determinadas biomásas encontradas en la provincia del Guayas, con la finalidad de establecer su potencial de generación de biogás.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar sistemas de producción de biogás para pruebas de laboratorio y para uso doméstico.
- Establecer los protocolos de funcionamiento de los sistemas.
- Realizar un análisis de factibilidad técnica-económica.
- Incentivar el cambio de la matriz energética de nuestro país.

1.3. Fundamentos teóricos de la producción de biogás

1.3.1. Definición de biogás

El biogás es un producto gaseoso generado a partir de un proceso de fermentación anaeróbica, que consiste principalmente de metano y dióxido de carbono, aunque también puede contener, dependiendo del sustrato, amoníaco, sulfuro de hidrógeno, vapor de agua y otras trazas de gases.

El biogás puede ser capturado y usado como combustible o para la generación de electricidad. De esta forma, se disminuye la cantidad de materia orgánica contaminante.

En la Tabla 1 se describen las concentraciones promedio de los gases que conforman el biogás.

Tabla 1. Composición promedio del Biogás

COMPONENTE	CONCENTRACIÓN
Metano (CH ₄)	50-75 vol. %
Dióxido de carbono (CO ₂)	25-45 vol. %
Agua (H ₂ O)	2-7 vol. % (20-40 °C)
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	20-20.000 ppm
Nitrógeno (N ₂)	< 2 vol. %
Oxígeno (O ₂)	< 2 vol. %
Hidrógeno (H ₂)	< 1 vol. %
Amoníaco (NH ₃)	< 1 vol. %

Fuente: Gülzow, (2006). Directrices de Producción y uso de biogás, los editores de la Agencia de Recursos Renovables. P31.

Debido a que se requiere reemplazar el uso del GLP por el biogás, se debe comparar las características energéticas de ambos combustibles, para saber su potencial como fuente de calor (ver Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de Características generales entre el Biogás y el Butano

CARACTERISTICAS	BIOGÁS	BUTANO (C ₄ H ₁₀)
CONTENIDO ENERGÉTICO	13,88 – 15.40 kWh/kg	12,78 –13,86 kWh/kg
EQUIVALENTE DE COMBUSTIBLE	1,29 – 1,44 L petróleo /kg biogás	1,20 – 1,30 L petróleo /kg butano
LÍMITE DE EXPLOSIÓN	6 – 12% de biogás en el aire	1,8 – 8,5% de butano en el aire
TEMPERATURA DE IGNICIÓN	650 – 750°C (con el contenido de CH ₄ mencionado)	405°C
PRESIÓN CRÍTICA	74 – 88 atm	36,29 atm
TEMPERATURA CRÍTICA	-82,5°C	152°C
DENSIDAD NORMAL	1,2 kg/m ³	2,52 kg/m ³
OLOR	Huevo podrido (el olor de biogás desulfurado es imperceptible)	Inodora cuando es pura, se le añade otra sustancia de olor característico para evitar accidentes.
MASA MOLAR	16,043 kg/kmol	58,08 kg/kmol

Fuente: Deublein D., Steinhauser A. 2008. Biogas from waste and renewable resources: An Introduction.

1.3.2. Producción del biogás

Estudios microbiológicos y bioquímicos realizados hasta la actualidad, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas (ver Figura 1).

Primera Etapa: Hidrólisis

Durante esta etapa, las bacterias hidrolíticas descomponen compuestos complejos del sustrato inicial, tales como carbohidratos, proteínas y grasas; los cuales se dividen en compuestos orgánicos simples, como los aminoácidos, azúcares y ácidos grasos.

Segunda Etapa: Acidogénesis

Los productos formados en la hidrólisis se dividen, por medio de las bacterias fermentadoras, para formar ácidos grasos más bajos como el acético, prebiótico y butírico, junto con dióxido de carbono e hidrógeno.

Tercera Etapa: Acetogénesis

Los ácidos grasos, productos de la etapa anterior se convierten con ayuda de las bacterias acetogénicas en ácido acético, hidrógeno molecular y dióxido de carbono, antecesores del biogás.

Cuarta Etapa: Metanogénesis

Esta es la etapa final de generación de biogás. Aquí, el ácido, el hidrógeno y el dióxido de carbono se convierten en metano por medio de las arqueas metanogénicas, las cuales son estrictamente anaeróbicas. Los metanógenos hidrogenotróficos producen metano a partir del hidrógeno y del dióxido de carbono, mientras que las bacterias acetoclásticas, que forman metano, lo producen por la división del ácido acético.

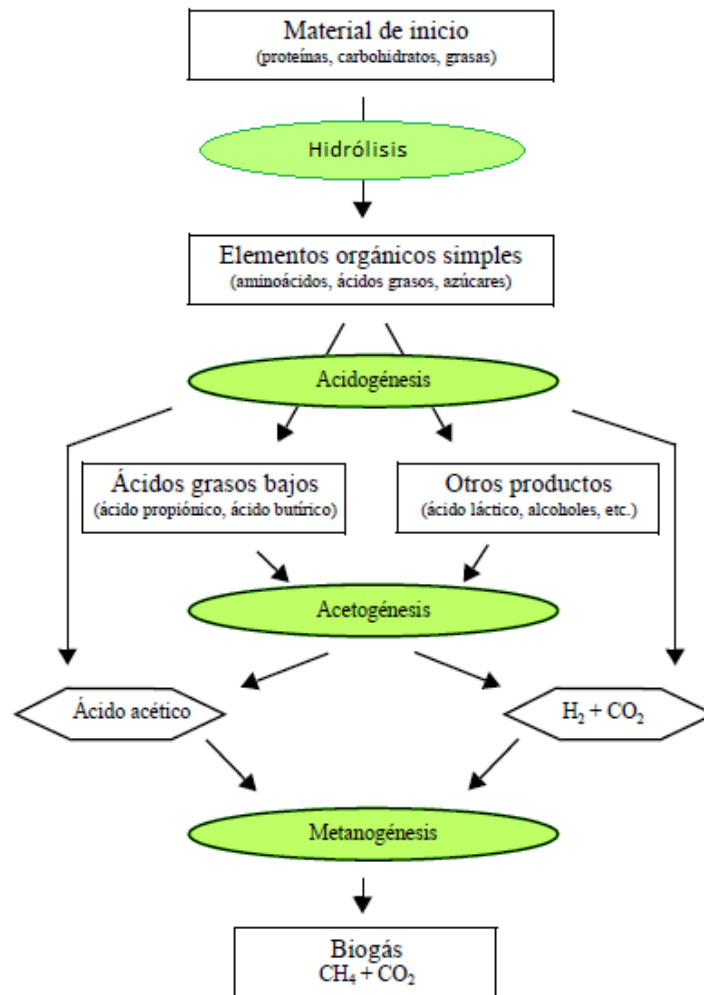


Figura 1. Esquema de la descomposición anaeróbica

Fuente: W. Bischofberger, N. Dichtl, K. Rosenwinkel, C. Seyfred, B. Böhnke, (2010). Guía sobre el Biogás de la producción hasta el uso (5ta ed.). P21. Recuperado de <https://mediathek.fnr.de/broschuren/fremdsprachige-publikationen/espanol/guia-sobre-el-biogas.html>

1.3.3. Factores de influencia en un proceso de fermentación anaeróbica

En la fermentación anaeróbica más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano. Las bacterias requieren condiciones para su correcto

funcionamiento, por lo tanto el rendimiento de biogás y la calidad se verán influenciados por varios factores:

Humedad: Para materiales fibrosos o residuos forestales gruesos se recomienda una humedad permisible del 75 - 90%, mientras que para material vegetal fresco se debe tener una humedad entre el 50 - 60%.

Oxígeno: Las bacterias metanogénicas dependen de un ambiente carente de oxígeno. La mayoría de estas especies mueren en la presencia de pequeñas cantidades de oxígeno. Sin embargo, es imposible tener un ambiente 100% libre de oxígeno dentro del digestor. La razón por la que la actividad de las bacterias metanogénicas no se inhibe inmediatamente o en el peor de los casos, no mueren todas, es debido a la existencia de bacterias que consumen oxígeno. Algunas de ellas son las que se conocen como bacterias anaeróbicas facultativas.

Luz: La ausencia de luz es importante para evitar el proceso de fotosíntesis dentro del biodigestor, debido a que inhibe el proceso.

Temperatura: La temperatura de operación del digestor es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica (ver Figura 2). Se requiere garantizar una temperatura homogénea en el digestor; para esto es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura. Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos (ver Tabla 3).

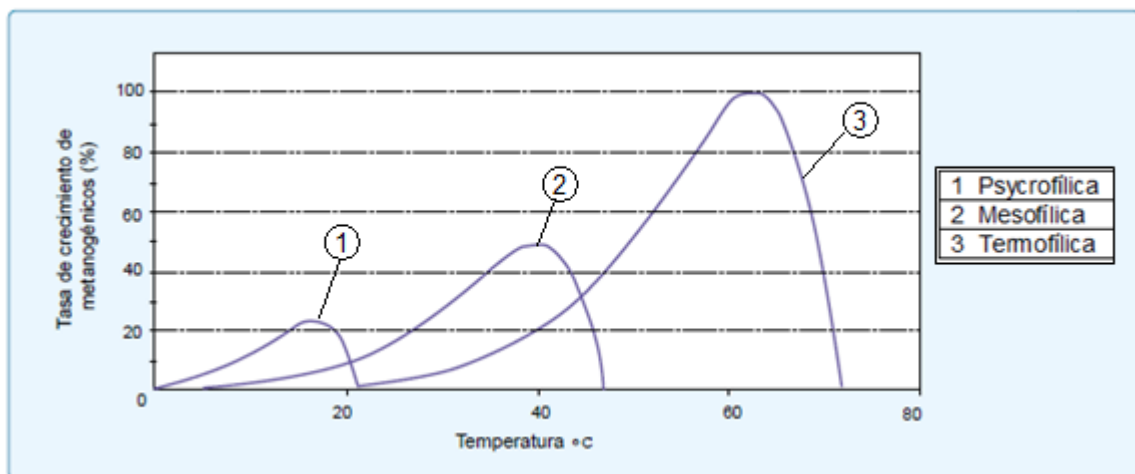


Figura 2. Tasa de crecimiento relativo de microorganismos vs Temperatura

Fuente: Speece, R. E. (1996). Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters. Nashville, Tenn: Archae Press.

Tabla 3. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica

MICROORGANISMOS ANAERÓBICOS	RANGOS DE TEMPERATURA			TIEMPO DE FERMENTACIÓN
	MÍNIMO	ÓPTIMO	MÁXIMO	
Psicrofílica	4-10°C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesofílica	15-20°C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Termofílica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

Fuente: Lagrange, B. 1979. Biomethane. Principes, Techniques, Utilisation. Vol.2. Edisual / Energies Alternatives.

Tiempo de permanencia hidráulico y Velocidad de carga orgánica: El tiempo de retención, y la velocidad de carga orgánica se determina por el tipo de sustrato, y estas son las variables de diseño que determinan el volumen de la cámara del reactor. Viene dada por la siguiente expresión:

$$\frac{\text{Volumen del digestor (m}^3\text{)}}{\text{Tiempo de retención (días)}} = \text{Volumen de carga diaria m}^3\text{/día}$$

Rango de pH: Para un proceso eficiente el rango de pH debe estar entre 5,5 y 6,5 para acidogénicos y entre 7,8 y 8,2 para metanogénicos. El pH para cultivos mixtos está en el rango entre 6,5 y 7,5, siendo el pH neutro el ideal (ver Figura 3).

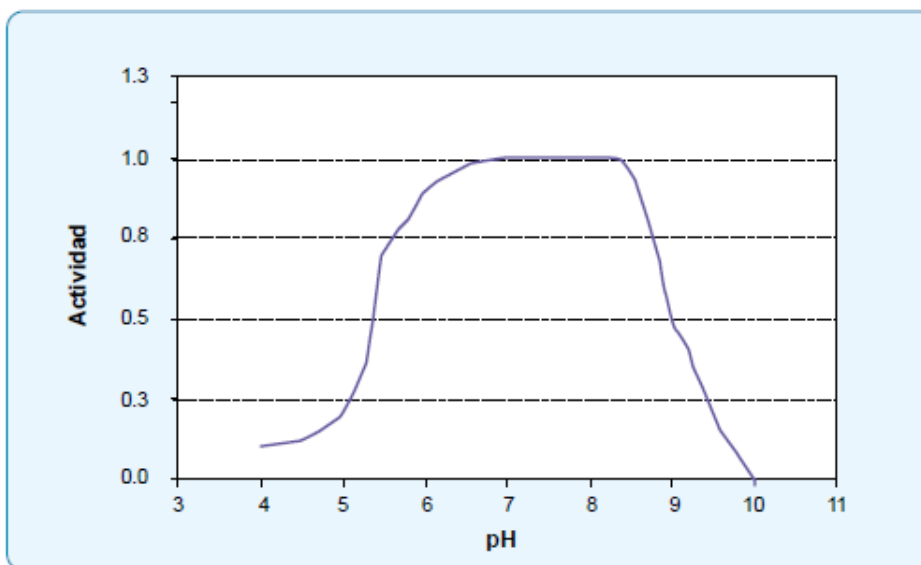


Figura 3. Dependencia del pH de la actividad metanogénica

Fuente: Speece, R. E. (1996). Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters. Nashville, Tenn: Archae Press.

Elementos nutrientes: La concentración y disponibilidad de estos componentes afecta la tasa de crecimiento y la actividad de las distintas poblaciones de bacterias para la producción del metano. En la Tabla 4 se detalla la concentración mínima de cada elemento presente en la fase metanogénica.

Tabla 4. Nivel mínimo de oligoelementos químicos para la fase metanogénica

ELEMENTO	CONCENTRACIÓN	
	En mol	En mg/l
Cobalto	1×10^{-6}	0,06
Molibdeno	1×10^{-7}	0,05
Nickel	1×10^{-7}	0,006
Selenio	1×10^{-7}	0,008
Cromo	$1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-3}$	0,005-50
Manganeso	$1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-3}$	0,005-50
Plomo	$1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-3}$	0,02-200

Fuente: W. Bischofberger, N. Dichtl, K. Rosenwinkel, C. Seyfred, B. Böhnke, (2010). Guía sobre el Biogás de la producción hasta el uso (5ta ed.). P96. Recuperado de <https://mediathek.fnr.de/broschuren/fremdsprachige-publikationen/espanol/guia-sobre-el-biogas.html>

Sustancias tóxicas e inhibidoras: Estas sustancias pueden formar parte de las materias primas, que pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos.

Sustancias como el amoníaco, metales pesados, compuestos halogenados, cianuro y fenoles, forman parte del primer grupo, mientras que, sulfuro, amoníaco y ácidos grasos de cadena larga, forman parte del último grupo mencionado.

1.3.4. Tecnología empleada en la digestión anaeróbica

Existen diversas clases de tecnologías empleadas a los digestores, se ha clasificado a estos de acuerdo a diferentes criterios.

1.3.4.1. Carga

Cuando se habla de carga se refiere a la alimentación de que va a tener el biodigestor, ya que esto determina la disponibilidad del sustrato para la generación de biogás.

Alimentación discontinua (batch): Aplicado para pruebas de laboratorio donde se obtiene información tal como la capacidad de fermentación del sustrato, la inhibición y el endiento del gas. Consiste en llenar el biodigestor por completo de un sustrato

fresco y sellado herméticamente. Puede contar con agitación o no. Para su arranque se debe tener una proporción de los cultivos iniciadores (inóculo).

Alimentación cuasi-continua y continua: La característica principal de la alimentación continua es que el volumen que se ingresa periódicamente debe ser una cantidad igual al efluente, manteniendo el volumen dentro de la cámara constante. En la continua el ingreso del sustrato es diario y en la cuasi-continua se descarga una o dos veces por año.

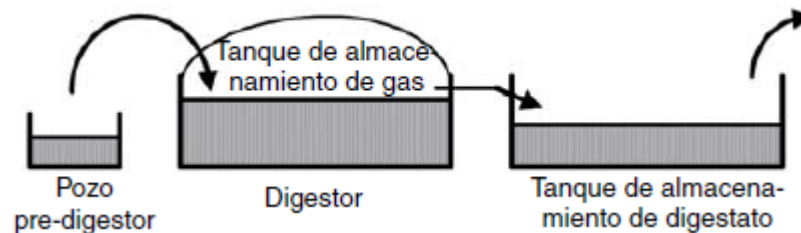


Figura 4. Esquema de la alimentación continua

Fuente: Fuente: Gülzow, (2006). Producción y uso de biogás Directrices, los editores de la Agencia de Recursos Renovables. P39.

1.3.4.2. Manejo Bioquímico

Entiéndase por etapa a los procesos bioquímicos que ocurren en la fermentación.

Una etapa: Se los denomina de una etapa ya que todas las etapas de la digestión anaeróbica se realizan en una sola cámara, con las mismas condiciones.

Dos etapas: Tienen dividido la digestión en dos cámaras diferentes, en la primera cámara se desarrolla las etapas de la hidrólisis y acidogénesis, en la segunda cámara se lleva a cabo la acetogénesis y la metanogénesis.

1.3.4.3. Mezclado

Existen diferentes razones por las cuales el mezclado del sustrato dentro de la cámara del biodigestor es importante:

- Para que el sustrato fresco sea inoculado (fermentado).
- Para distribución uniforme de calor y nutrientes.
- Para prevenir asentamientos y formación de capas de escoria.
- Para obtener mejor rendimiento del biogás a partir del sustrato

El mezclado se lo puede realizar de manera mecánica por medio de sistemas como los agitadores dentro del reactor, hidráulica por medio de bombas ubicadas en las cercanías del digestor o neumática soplando biogás dentro del tanque. En general la agitación, se debe realizar a bajas velocidades de entre 50 rpm hasta 100 rpm para asegurar una mezcla adecuada y desgasificación, un ejemplo de estos mecanismos son los agitadores de ejes largos (ver Figura 5).



Figura 5. Agitadores de eje largo

Fuente: Gülzow, (2010). Guía sobre el Biogás de la producción hasta el uso (5ta ed.). Recuperado de <https://mediathek.fnr.de/broschuren/fremdsprachige-publikationen/espanol/guia-sobre-el-biogas.html>

1.3.4.4. Manejo del sustrato

En estos casos se busca mantener la mayor cantidad bacterias activas dentro del digestor, para ayudar a lograr menores tiempos de retención, por lo tanto se diseñaría con un menor volumen a la cámara del biodigestor para tratar la misma cantidad de biomasa.

1.3.5 Toma y preparación de muestras

El muestreo es una parte importante para determinar la fermentación de los materiales orgánicos y tiene influencia en la calidad de los resultados. No se puede definir una sola solución, o un procediendo estándar que cubra todo tipo de muestras. En lugar de un solo enfoque, se deben establecer las características que dependen del tipo de material y de los objetivos planteados para la prueba.

Las cantidades para el muestreo pueden ser de diferente consistencia (homogénea o heterogénea), las estrategias y procedimientos pueden ser adaptados para satisfacer la variación en la composición del material.

1.3.5.1. Toma de muestras

Para la toma de muestras es necesario documentar en un registro de muestreo, la documentación debe ser realizada de manera estandarizada. El registro de la toma de muestras sirve para el control y como evidencia de su exacta ejecución. La estrategia y los procedimientos para toma de muestras deben adaptarse dependiendo de la variación en la composición del material (ver Figura 6).

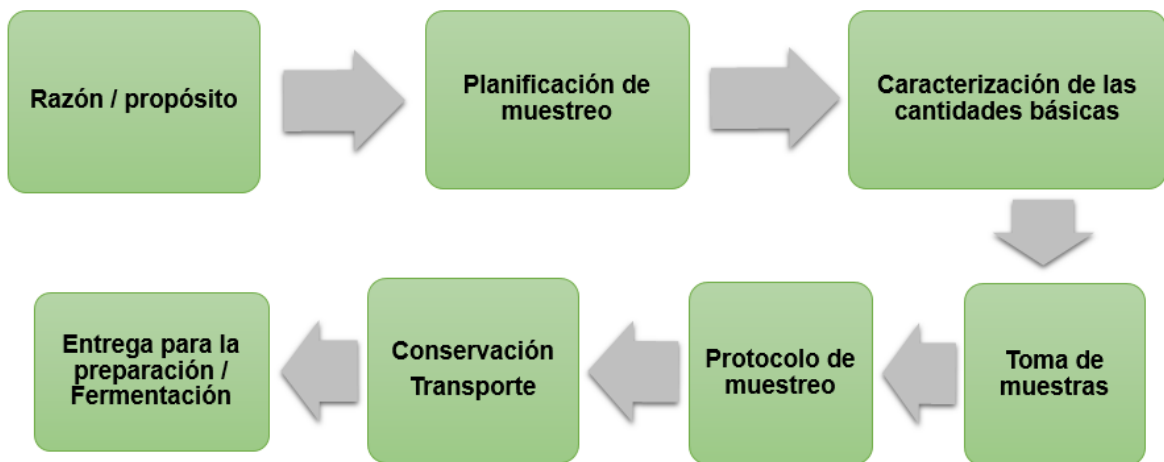


Figura 6. Planificación del muestreo

Fuente: Directriz VDI 4630. (2006). Fermentación de materiales orgánicos y Caracterización del sustrato, muestreo, colección de datos, pruebas de fermentación de materiales. P23.

1.3.5.2. Preparación de muestras

Se deberá estar preparado si las propiedades de las muestras presentan diferencias significativas con respecto a una muestra base (referencia o tamaño), impidiendo realizar las pruebas de fermentación. Generalmente esta preparación se realiza para obtener tamaños de grano adecuados.

Los interferentes deben eliminarse mediante una cuidadosa selección antes de la reducción de tamaño. Para preparar el sustrato se recomienda seguir los pasos que se muestran en la Figura 7.

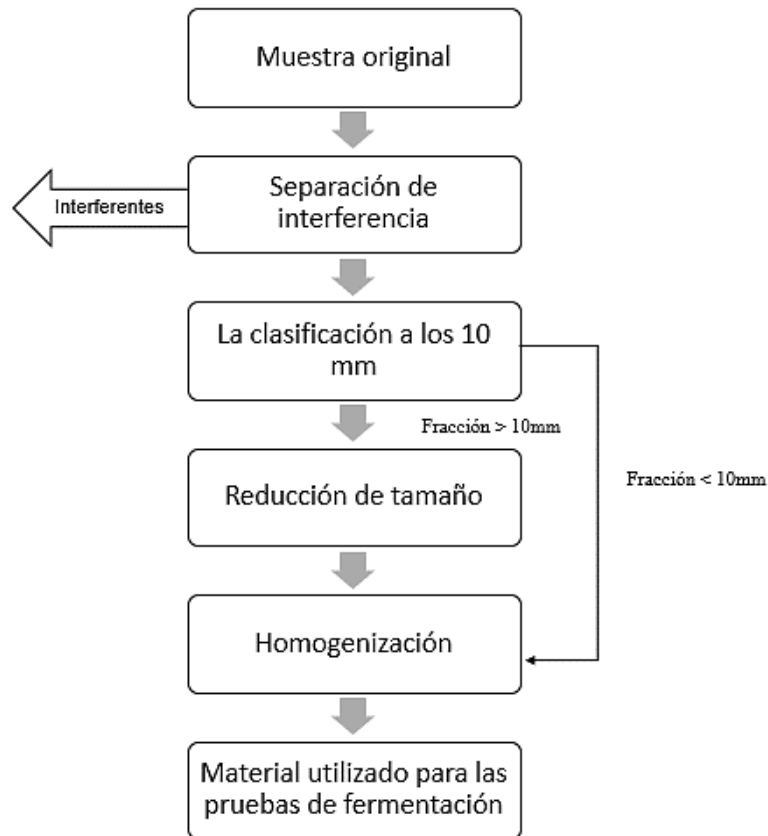


Figura 7. Preparación de la muestra

Fuente: Directriz VDI 4630. (2006). Fermentación de materiales orgánicos y Caracterización del sustrato, muestreo, colección de datos, pruebas de fermentación de materiales. P30.

1.3.6. Control y conducción del proceso

Se debe controlar ciertas variables del proceso para obtener mejor rendimiento en la producción de biogás, tales como:

- Tipo y cantidad del sustrato suministrado.
- Temperatura del proceso.
- pH.
- Cantidad de biogás y composición.
- Ácidos grasos de cadena corta.
- Volumen de insumo y niveles de llenado.

El monitoreo periódico y la recopilación de datos de medición permite estandarizar y desarrollar el proceso de fermentación, además de aumentar la productividad de la planta de biogás y mantener los procesos estables, detectando así desviaciones de los valores establecidos.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGIA DEL DISEÑO

2.1. Descripción del proceso de fermentación

Para poder determinar la capacidad de fermentación y el potencial de formación de gas, así como los efectos inhibidores de un sustrato (material orgánico), se utilizó un proceso por lotes (batch process). Un ensayo de lote es una prueba discontinua, en la que se usa el sustrato con la adición de cultivos iniciadores (inóculo) y se lo fermenta bajo condiciones definidas. Este ensayo se lo realiza solo una vez.

Los procesos por lotes permiten evaluar los procesos de fermentación para poder determinar cualidades específicas del sustrato analizado, tales como:

- El potencial de producción de biogás y la biodegradabilidad anaerobia de una sustancia o composición.
- El efecto de los inhibidores de la sustancia ensayada, en el rango de concentración estudiado.
- La estabilidad del proceso en reactores que se alimentan continuamente con la sustancia o mezcla estudiada.
- Los límites de velocidad de carga orgánica, entre otros.

El resultado de las pruebas de fermentación la caracterización del sustrato; dichos resultados dependerán principalmente de la composición del sustrato y el método empleado para su estudio.

Normas aplicadas:

Las configuraciones experimentales y protocolos de caracterización de sustratos están basados en las normas:

- Directriz VDI 4630 "La fermentación de materiales orgánicos, caracterización de sustratos, toma de muestras, datos de materiales y pruebas experimentales".
- DIN 38414-S8 "Lodos y sedimentos (grupo S). Determinación de la digestión anaeróbica".

- DIN EN ISO 11734 “Determinación de la última biodegradabilidad anaeróbica de los compuestos orgánicos en los lodos digeridos. Método de medición de la producción de biogás”.
- DIN EN 12879 “Caracterización de lodos. Determinación de la pérdida por ignición de masa seca”.
- DIN EN 12880 “Caracterización de lodos. Determinación de residuos secos con contenido de agua”.

2.2. Metodologías de generación de biogás

Los principales condicionantes en este tipo de procedimientos lo constituyen tanto la presencia de oxígeno, como las pérdidas de biogás por fugas. Por esto, se debe garantizar la correcta estanqueidad del sistema utilizado.

En los siguientes párrafos se procederá a describir brevemente las diferentes metodologías de producción de biogás, tanto a nivel de laboratorio como para uso doméstico (biodigestor). Cada uno de estos métodos difieren principalmente, en su tamaño y el tipo de medición de volumen de gas.

2.2.1 Metodologías usadas a nivel de laboratorio

Banco de prueba según la norma DIN 38414-S8: Medición de volumen de gas con tubo eudiómetro.

El volumen de gas producido en la prueba se lee cuando el nivel del líquido de confinamiento en el tubo eudiómetro y en la botella de nivelación son los mismos (Ver Figura 8). La desventaja de este enfoque es que la presión ascendente generada por el gas formado en el lote de prueba crea una contrapresión, ocasionando pérdidas.

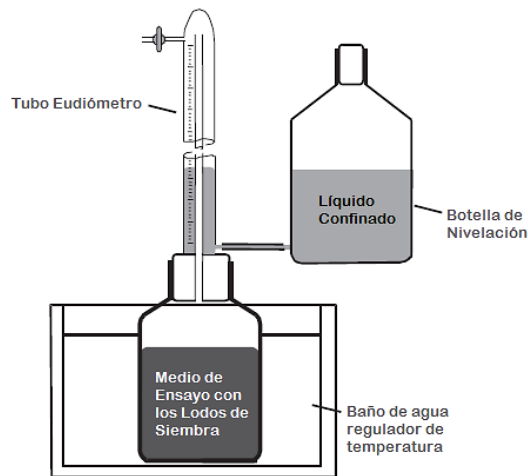


Figura 8. Banco de prueba según norma DIN 38414-S8

Fuente: Directriz VDI 4630. (2006). Fermentación de materiales orgánicos y Caracterización del sustrato, muestreo, colección de datos, pruebas de fermentación de materiales. P47.

Banco de prueba según la norma DIN EN ISO 11734: Medición de volumen de gas con un instrumento de medición de la presión de gas.

El volumen de gas se detecta indirectamente con un medidor de presión. Para el cálculo se utilizan las lecturas de presión y temperatura. La presión del gas no debe superar un valor de 100 hPa como lo indica la normativa (ver Figura 9). Este método también posee una desventaja debido a la presión cada vez mayor en el lote de prueba, hay una contrapresión que causa pérdidas de gas más altas.

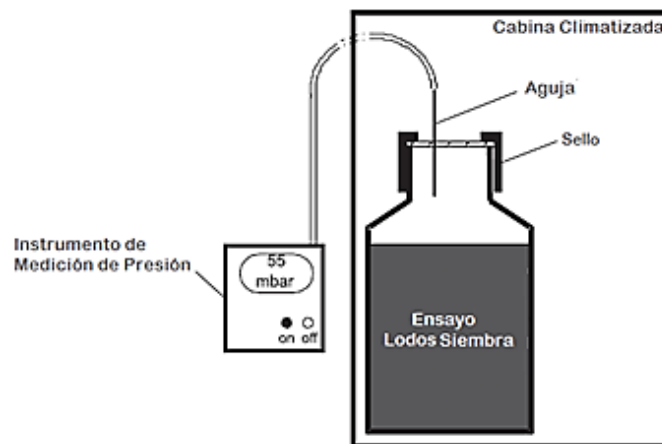


Figura 9. Banco de prueba según norma DIN EN ISO 11734

Fuente: Directriz VDI 4630. (2006). Fermentación de materiales orgánicos y Caracterización del sustrato, muestreo, colección de datos, pruebas de fermentación de materiales. P47.

Medición del volumen de gas a través de tubos de recolección de gas.

El gas se puede introducir a los tubos de recogida, que se colocan generalmente en un cilindro de vidrio con líquido de sellado. La conexión entre el fermentador y el tubo de recolección de gas se realiza por medio de un tubo de vidrio. Las partes móviles de plástico deben tener la menor longitud posible (ver Figura 10). La desventaja de este método es la contrapresión causada por la columna de agua, dando lugar a altas pérdidas de gas.

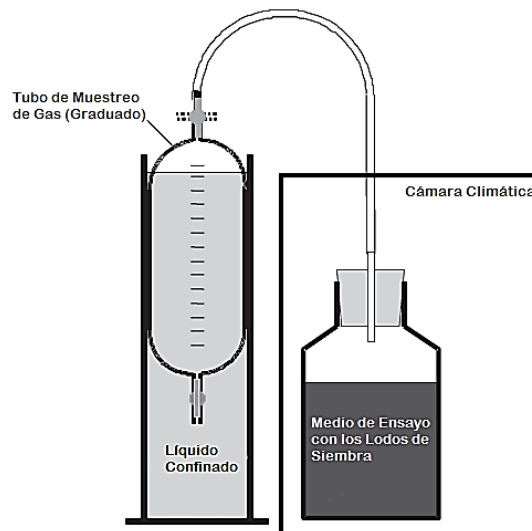


Figura 10. Banco de prueba: medición de volumen de gas con gas tubos de muestreo

Fuente: Directriz VDI 4630. (2006). Fermentación de materiales orgánicos y Caracterización del sustrato, muestreo, colección de datos, pruebas de fermentación de materiales. P47.

Medición del volumen de gas a través de bolsas de recolección.

Este banco de pruebas permite la fermentación de volúmenes más grandes. El recipiente posee una mayor capacidad, y los contenidos deben ser mezclados por medio de un agitador. El biogás que se va formando se recoge en una bolsa de plástico, que se vacía periódicamente a través de un medidor de gas de tipo tambor (ver Figura 11). Este sistema funciona con presiones bajas debido a la descarga del biogás producido en las bolsas de recolección.

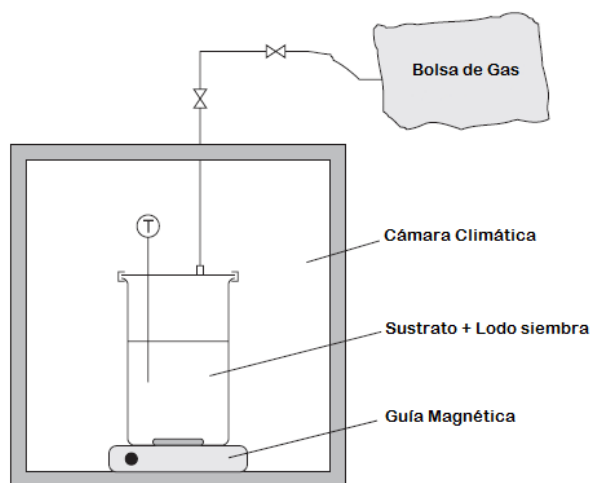


Figura 11. Banco de prueba: Medición del volumen de gas a través de bolsas de recolección

Fuente: Directriz VDI 4630. (2006). Fermentación de materiales orgánicos y Caracterización del sustrato, muestreo, colección de datos, pruebas de fermentación de materiales. P48.

Prueba de fermentación Hohenheimer.

Esta prueba no requiere tubería de recolección de gas debido a que la recolección y la medición del biogás generado se realizan en el espacio superior de la jeringa (ver Figura 12). En este método, se evitan pérdidas de gas y no se producen altas presiones.

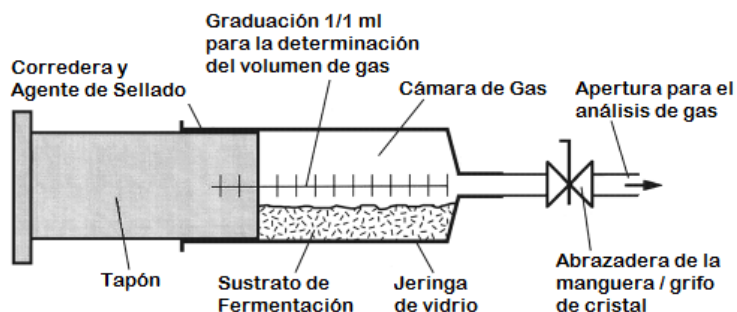


Figura 12. Esquema de la prueba de fermentación Hohenheimer (Jeringa)

Fuente: Directriz VDI 4630. (2006). Fermentación de materiales orgánicos y Caracterización del sustrato, muestreo, colección de datos, pruebas de fermentación de materiales. P48.

Prueba de fermentación Bergedorfer.

La principal característica de esta prueba es un contador de gas que tiene un componente central, un cubo de inclinación hueco giratorio de volumen definido y calibrado. Al inclinarse se genera un pulso electrónico que se transforma a través de una pantalla en mililitros o se genera por los programas informáticos los esquemas de formación de gases resultantes. El análisis del biogás puede llevarse a cabo ya

sea directamente en la salida de gas de la unidad o a través de una bolsa de gas (ver Figura 13). Este método tiene la ventaja de que el volumen no es limitado y el biogás producido no debe ser dado de alta. No hay presiones altas.

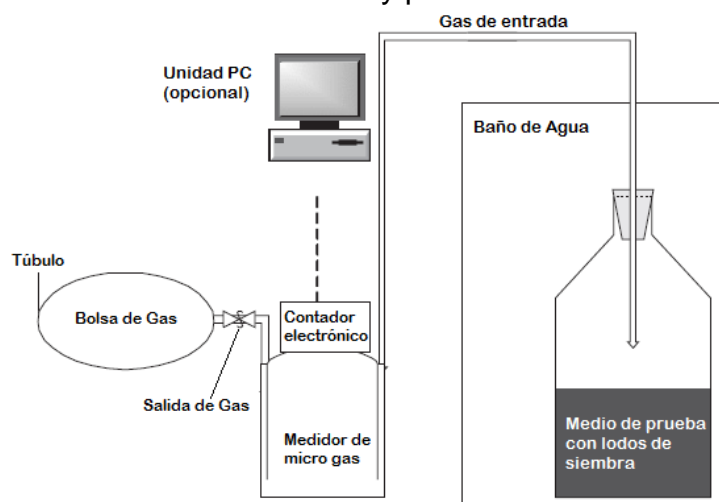


Figura 13. Diagrama esquemático de la prueba de fermentación Bergedorfer

Fuente: Directriz VDI 4630. (2006). Fermentación de materiales orgánicos y Caracterización del sustrato, muestreo, colección de datos, pruebas de fermentación de materiales. P48.

2.2.1.1. Descripción del método seleccionado para laboratorio

Para la selección del método desarrollado como diseño para pruebas de laboratorio se realizó la respectiva matriz de decisión mostrada en la Tabla 5, donde se muestran las características más importantes a ser tomadas en cuenta.

Tabla 5. Matriz de Decisión para sistema de pruebas de laboratorio

MATRIZ DE DECISIÓN						
PONDERACIÓN	CONFIABILIDAD	COSTO	FACILIDAD DE USO	MONTAJE	MANTENIMIENTO	TOTAL
MÉTODOS	(30)	(20)	(20)	(15)	(15)	(100)
A	20	18	20	14	15	87
B	20	12	15	14	15	76
C	20	15	20	13	15	83
D	25	10	15	12	14	76
E	25	16	17	12	13	83
F	25	7	10	8	12	62

Nota. A) Banco de prueba según la norma DIN 38414-S8. B) Banco de prueba según la norma DIN EN ISO 11734. C) Medición del volumen de gas a través de tubos de recolección de gas. D) Medición del volumen de gas a través de bolsas de recolección. E) Prueba de fermentación Hohenheimer. F) Prueba de fermentación Bergedorfer. Fuente: Elaboración propia.

Debido a su estructura simple, facilidad montaje y desmontaje, baja complejidad del aparato y bajo costo, el método A (Banco de pruebas según la norma DIN 38414-S8 fue la escogida para ser desarrollada. El diseño del banco de pruebas y protocolos de funcionamiento se establecieron bajo la directriz VDI 4630.

Características del banco de pruebas seleccionado

El banco de pruebas, como se detalla en la Figura 14, se compone de un tubo eudiómetro graduado de arriba hacia abajo (B), una botella de almacenamiento o reactor (A). En la parte inferior del tubo eudiómetro se coloca un tubo de conexión (C), que permite la entrada de gas generado en el reactor al tubo eudiómetro. El extremo del tubo eudiómetro está unido a una manguera suficientemente larga (F), que lo conecta a un depósito de nivel (G). En el extremo superior del tubo eudiómetro se coloca una llave de paso cónico (H) para realizar la toma de muestras de gas. La medición de volumen se toma a partir de un punto cero previamente seteado (D).

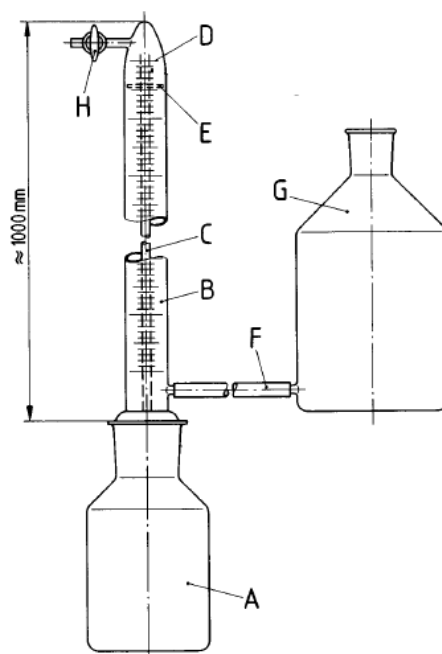


Figura 14. Diagrama esquemático del método seleccionado

Fuente: DIN 38414-S8 "de lodos y sedimentos (grupo S), Determinación de la digestión anaerobia". P6.

2.2.2. Descripción de biodigestor familiar (método de proceso continuo)

El biodigestor es un sistema que aprovecha la digestión anaeróbica de las bacterias presentes en la fermentación de la materia orgánica para la generación de biogás. Se debe hacer uso de una mínima tecnología necesaria para evitar costos elevados. Entre sus aplicaciones se encuentran:

- Producción de biogás, para uso doméstico (cocinar y calentar agua).
- Producción de biol, el cual es un producto secundario usado como abono para mejorar el rendimiento de las cosechas.
- Tratamientos de residuos, para disminuir la contaminación.

Los biodigestores familiares han sido empleados en países del sureste asiático tales como India, Nepal, China, entre otros .En el caso de América Latina, se han instalado en Cuba, Bolivia, Colombia, Brasil y Ecuador (zonas rurales de las regiones Costa y Sierra).

Existen varias alternativas de diseño para este tipo de biodigestores, tales como se pueden observar en las Figuras 15,16 y 17:



Figura 15. Biodigestores de domo fijo, modelo CAMARTEC

Fuente: Martí Jaime, (2014). Eficiencias de biodigestores tipo tubular y domo fijo. Recuperado de <http://tallerbiogas.blogspot.com/2014/12/eficiencias-de-biodigestores-tipo.html>



Figura 16. Biodigestor semirrígido

Fuente: Puesta en marcha y optimización. Recuperado de <http://www.biodigestoresolutions.info/>



Figura 17. Biodigestores de polietileno tubular

Fuente: Martí Jaime, (2014). Eficiencias de biodigestores tipo tubular y domo fijo. Recuperado de <http://tallerbiogas.blogspot.com/2014/12/eficiencias-de-biodigestores-tipo.html>

Como se hizo en el caso anterior, se procedió a realizar la respectiva matriz de decisión para seleccionar el método más idóneo para la producción de biogás utilizando un biodigestor familiar (ver Tabla 6).

Tabla 6. Matriz de decisión para biodigestor familiar

PONDERACIÓN MÉTODOS	MATRIZ DE DECISIÓN					TOTAL (100)
	COSTO (30)	CONFIABILIDAD (20)	FACILIDAD DE USO (20)	MONTAJE (15)	MANTENIMIENTO (15)	
A	15	16	18	10	12	71
B	20	18	18	12	12	80
C	28	18	19	15	14	94

Nota. A) Biodigestor de Domo fijo, modelo CAMARTEC, B) Biodigestor Semirrígido y C) Biodigestor de Polietileno Tubular. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la matriz de decisión propuesta, se tiene que la mejor alternativa es el método C, biodigestor de polietileno tubular, el cual cumple con el limitante principal que es el costo, ya que uno de los objetivos de este trabajo de graduación es proveer de esta tecnología a familias de bajos recursos del sector rural de la provincia del Guayas.

2.2.2.1. Aplicaciones y características de funcionamiento.

El biogás producido se lo puede utilizar para cocinar, calentar agua, para iluminación (mecheros) y electricidad (centrales de gran tamaño).

Cabe mencionar que al combustionar biogás no se producen humos visibles, en comparación con el humo proveniente de la quema de madera a partir de residuos orgánicos.

Existen tres limitantes, los cuales son fundamentales para los biodigestores: disponibilidad de líquido para realizar la mezcla con el estiércol o sustrato, la cantidad de biomasa disponible, el involucramiento y la aceptación de los usuarios con la tecnología.

El funcionamiento de un biodigestor del tipo “salchicha” o de polietileno tubular consiste en fermentar los compuestos orgánicos (estiércol, material vegetal, entre otros), que se le introduzcan, en ausencia de oxígeno. Dentro del biodigestor los compuestos son reducidos y se genera biogás y un afluyente llamado biol, el cual es un excelente abono natural.

Los componentes del cual consta este tipo de biodigestor son:

Zanja del biodigestor:

Es donde el biodigestor se apoya. Para garantizar la protección del polietileno tubular, se coloca en el fondo de la zanja una cama de arena o paja, y encima de esto se coloca plástico o sacos de yute.

Cámara del biodigestor:

Se la construye con polietileno tubular negro (tipo funda), el cual tiene buena hermeticidad, es fácil de manejar y tiene un bajo costo. Para la entrada y la salida de esta cámara se utilizan tubos de PVC por su resistencia a la corrosión, los cuales son unidos a esta bolsa por medio de cinta neumática (cinta hecha de retazos de tubos de llantas). Se coloca también una válvula para la salida del biogás que se genera en el proceso, dicha válvula se puede encontrar en el mercado nacional como “toma para tanque” y debe ser de PVC o PP para que no existan problemas de corrosión.

Línea de conducción de biogás:

Es por donde fluye el biogás generado hacia donde se lo va a utilizar o almacenar. Se realiza con tuberías de PVC para evitar problemas de corrosión, además de su bajo costo y fácil instalación. Consta de accesorios de PVC (codos, uniones universales, nipples y tees), comúnmente utilizados para instalación de líneas domésticas de agua.

Un elemento fundamental en esta línea de conducción de biogás es la válvula de seguridad (ver página 50).

2.3. Descripción de las características de ciertos sustratos idóneos para la producción de biogás en Ecuador.

Con base en el Atlas Bioenergético del Ecuador, se define a la biomasa como una fuente de energía renovable, la cual proviene de residuos de materia orgánica que no forman parte de la cadena alimenticia y no sirven para productos del mercado. Estos residuos se originan de actividades agropecuarias y forestales, residuos urbanos y otros cultivos con fines energéticos. La Tabla 7 muestra las diferentes biomásas encontradas en el Ecuador, divididas por sectores y características.

Tabla 7. Características físicas de la biomasa

FUENTES	TIPO DE RESIDUOS	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS
Residuos forestales	Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas	Polvo sólidos, H* 30-45%
	Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas	Sólidos de baja humedad
	Restos de plantaciones: ramas, cortezas, raíces	Sólidos, H*>55%
Residuos agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales	Sólidos muy húmedos
	Cáscara y polvo de granos secos	Polvo, H*<25%
	Estiércol	Sólidos muy húmedos
	Tallos, Hojas, Cascaras, Maleza, Pastura	Sólidos H*>55%
Residuos industriales	Pulpa y cáscara de fruta y vegetales	Sólidos moderadamente húmedos
	Residuos de procesamiento de carne	Sólidos muy húmedos
	Aguas de lavado de carne y vegetales	Líquido
	Grasas y aceites vegetales	Líquido, gaseoso

Nota. H*= Humedad. Fuente: Atlas Bioenergético del Ecuador (2014). P8

2.3.1. Biomásas identificadas en la provincia del Guayas

En el sector agrícola, los subproductos que se forman durante la recolección y transformación de la cosecha forman la biomasa pertenecen a dos tipos:

- Los que se originan en actividades de campo (residuos agrícolas de campo).
- Los que se generan durante los procesos de elaboración de producción agrícola (residuo agrícola industrial).

En la provincia del Guayas se tiene variedad de productos agrícolas, pero los que sobresalen en la producción se indican en la Tabla 8.

Tabla 8. Principales productos agrícolas encontrados en la provincia del Guayas

PROVINCIA	SUPERFICIE (km ²)	PRODUCTO	PRODUCCIÓN ABSOLUTA (ton./año)	RESIDUOS (ton./año)	ENERGÍA BRUTA (TJ/año)
Guayas	15.331,98	Arroz	976.018,96	1.311.525,48	17.653,67
		Banano	1.665.723,71	1.099.377,65	13.889,08
		Caña de azúcar	3.708.226,02	593.316,16	11.777,01
		Cacao	57.992,64	718.018,43	4.856,53
		Palma africana	65.913,82	168.890,97	2.158,56
TOTAL			6.473.875,14	3.891.128,69	50.325,85

Fuente: Atlas Bioenergético del Ecuador (2014). P17

Por otro lado en el sector pecuario la biomasa residual corresponde al estiércol generado por las cadenas productivas (ver Tabla 9).

Tabla 9. Resumen del sector pecuario en la provincia del Guayas.

PROVINCIA	CANTÓN	SUPERFICIE (km ²)	PRODUCCIÓN ABSOLUTA (ton./año)	RESIDUOS (ton./año)	PRODUCCIÓN DE METANO (m ³)	ENERGÍA BRUTA (TJ/año)
GUAYAS	Alfredo Baquerizo Moreno	218,62	5.748	575,61	3.465,05	0,12
	Balao	409,10	25.454	1236,46	12.326,91	0,41
	Balzar	1.187,47	76.022	9.118,12	83.078,16	2,77
	Colimes	758,37	83.283	3.881,64	35.595,83	1,23
	Crncl. Marcelo Maridueña	254,41	933.013	18.554,04	344.875,97	12,21
	Daule	466,07	52.728	3.938,37	37.536,10	1,27
	Durán	300,45	5.704	708,86	4.262,14	0,14
	El Triunfo	395,42	1.254.663	24.541,72	403.114,13	14,40
	Empalme	715,93	65.706	4.278,42	36.958,54	1,25
	Gnral. Antonio Elizalde	153,26	2.542.105	47.554,60	778.583,15	27,93
	Guayaquil	4.111,67	812.827	16.908,88	304.190,44	10,75
	Isidro Ayora	487,47	887.856	17.075,49	274.954,21	9,85
	Lomas de Sargentillo	66,85	191.990	4.678,17	112.510,18	3,89
	Milagro	405,49	9.117	766,94	14.906,89	0,50
	Naranjal	1.732,07	104.605	3.571,77	39.550,46	1,38
	Naranjito	224,83	856	91,69	551,73	0,02
	Nobol	136,74	5.309	739,23	12.907,45	0,43
	Palestina	193,53	3.331	451,19	2.711,75	0,09
	Pedro Carbo	934,87	156.189	4.006,86	54.274,81	1,92
	Playas	268,23	97.967	1.804,83	29.696,50	1,07
Salitre	358,94	11.630	1.806,97	10.853,88	0,36	
Samborondón	357,68	7.043	901,83	5.848,20	0,19	
San Jacinto de Yaguachi	291,60	13.034	318,35	4.245,95	0,15	
Santa Lucía	393,43	25.496	3.821,09	22.955,40	0,76	
Simón Bolívar	509,45	12.987	1.884,63	16.360,68	0,54	
TOTAL		15.331,98	7.384.714	173.215,75	2.646.314,52	93,65

Fuente: Atlas Bioenergético del Ecuador (2014). P87

2.3.2. Procedimiento de caracterización de sustratos

En general, los parámetros utilizados dependen de la tecnología empleada, la preparación de la muestra y las restricciones legales gubernamentales. La preparación del sustrato es de vital importancia para el proceso de fermentación, ya que influye sobre la calidad del biogás obtenido. Dentro de la preparación del sustrato se encuentran los siguientes parámetros:

Consistencia

Los sustratos se los puede encontrar en forma líquida, pastosa y sólida; además, pueden ser homogéneos o heterogéneos. Este tipo de característica determina como debe ser llevado el muestreo, preparación y almacenamiento, así como la forma adecuada de agitación para el proceso de fermentación, es decir sustratos pastosos requieren mayor agitación.

Composición química

Los parámetros básicos a utilizar son los siguientes:

- Demanda química de oxígeno [DQO] (cantidad de oxígeno teórico consumido para la oxidación total de los elementos orgánicos).
- Contenido de materia seca de sólidos totales [MS] (materia sin contenido de agua).
- Contenido de materia seca orgánica total [MSO] (porción que es teóricamente fermentable en teoría).

Otra forma de caracterizar es analizando el contenido de los elementos presentes en el sustrato como son carbono (C), nitrógeno (N), azufre (S), fósforo (P), magnesio (Mg) y potasio (K). Con estos parámetros se puede establecer la capacidad de fermentación de un sustrato, la influencia inhibidora y la calidad del biogás.

Con la relación C:N y la relación C:S es posible conocer la capacidad inhibidora que podría tener el amoníaco o sulfuro de hidrógeno respectivamente, formados durante el proceso.

Los parámetros N, P, K y Mg se utilizan para establecer la capacidad de fermentación, y el posterior uso del material sobrante como fertilizante.

Higiene

En los subproductos animales como el estiércol, residuos de mataderos y residuos de alimentos, los sustratos pueden contener parásitos, virus, u otro agente patógeno, que pueden inhibir el proceso de fermentación dependiendo de la cantidad presente en la muestra.

Capacidad de fermentación

Se puede clasificar en:

- Sustratos incondicionalmente fermentables (alcoholes o glicerina).
- Sustratos que son fermentables con mecanismos de preparación y homogenización (residuos orgánicos domésticos).

- Sustratos que son fermentables con preparación química y física (componentes con tóxicos que pueden cambiar el pH o sustratos que contienen sustancias inhibitoras).
- Sustratos que son fermentables bajo condiciones definidas, es decir que tienen que ser mezclados o diluidos por otros sustratos para ser fermentables.

2.3.3 Determinación del volumen y de la calidad del biogás generado

La producción de biogás es la cantidad del mismo en condiciones estándar (273K, 1013 hPa), que se genera por cada kilogramo de masa fresca de sustrato (ver Tabla 10).

Tabla 10. Rendimiento y composición teórica del biogás de acuerdo al tipo de sustrato

TIPO DE SUSTRATO	RENDIMIENTO TEÓRICO DEL BIOGÁS	COMPOSICIÓN CH ₄ /CO ₂ TEÓRICA	
	$\ell_{N/KgMSO}$	EN % POR VOLUMEN	
Carbohidratos	750	50% CH ₄	50% CO ₂
Grasas	1390	72% CH ₄	28% CO ₂
Proteínas	800	60% CH ₄	40% CO ₂

Nota. Durante la fermentación de hidratos de carbono, grasas y proteínas (bajo el supuesto teórico que el sustrato se convierte completamente en biogás). Fuente: Directriz VDI 4630. (2006). Fermentación de materiales orgánicos y Caracterización del sustrato, muestreo, colección de datos, pruebas de fermentación de materiales. P52.

Evaluación Cuantitativa

Para calcular el volumen, rendimiento y calidad del gas de fermentación se deben tomar datos entre periodos de lectura. Esta evaluación nos permite saber el rendimiento teórico del biogás obtenido de acuerdo al sustrato utilizado, así mismo su composición teórica en porcentaje de volumen de CH₄ y CO₂, usando las ecuaciones indicadas en la norma VDI 4630.

Evaluación Cualitativa

En la Figura 18 se muestra las curvas de frecuencia de producción de biogás. La producción neta de biogás es la diferencia entre el biogás de la producción en las pruebas y el biogás producido por los inóculos. Sustancias fácilmente degradables se convierten rápidamente en biogás y la curva correspondiente se caracteriza por un fuerte aumento en la cantidad de biogás acumulado (Curva 1). Si el proceso es de dos etapas, la curva tiene pasos de escalera (Curva 2). Sustancias que se degradan con dificultad (lignina) tienen una curva de formación de gas retardada. La forma de esta curva se puede deber a una leve inhibición (Curva 3). Una inhibición completa provoca un resultado de producción de biogás neto negativo, es decir, la formación de gas es menor que el lote de prueba (Curva 4).

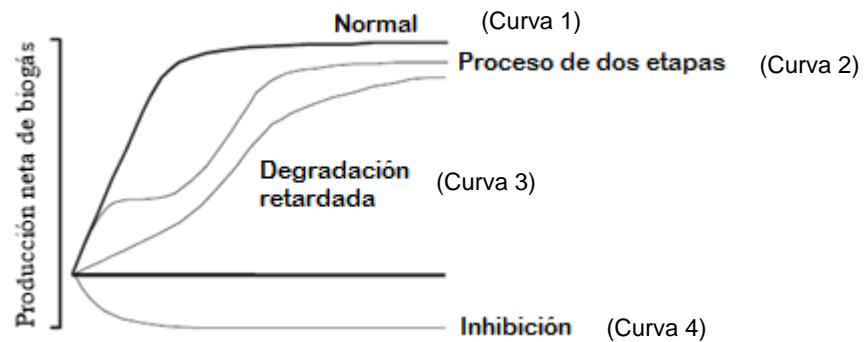


Figura 18. Formas típicas de las curvas de formación de gas

Fuente: Directriz VDI 4630. (2006). Fermentación de materiales orgánicos y Caracterización del sustrato, muestreo, colección de datos, pruebas de fermentación de materiales. P59.

2.4. Diseño de sistemas para determinar el potencial de generación de biogás

A partir de las normas VDI 4630 y DIN 38414-S8, se desarrolló el diseño del sistema de fermentación para laboratorio, para determinar el potencial de biogás que posee un sustrato en particular. De igual manera, se desarrolló un sistema de fermentación para un proceso continuo, que abastecerá de biogás a una familia en una zona rural de la provincia del Guayas.

2.4.1 Sistema de fermentación para pruebas de laboratorio

Este sistema cumple con las condiciones de ser de bajo costo, confiable, de fácil instalación, uso y mantenimiento; además de estar conformado por materiales fáciles de conseguir en el mercado nacional.

El método seleccionado es aplicable a lodos de semilla y residuos con una alta concentración de componentes orgánicos, permitiendo el estudio del proceso de digestión en un experimento de simulación, a través cual se puede determinar:

- La cantidad de materia orgánica degradable, es decir el volumen de gas obtenido a partir de la digestión de materia orgánica.
- Cantidad de sólidos totales y sólidos volátiles de la muestra.
- Composición química.
- Presencia de sustancias que inhiban la digestión.

2.4.1.1 Condiciones de Diseño

El diseño del sistema se basó en la Norma DIN 38414-S8, para lo cual se requiere que el sistema permita determinar el volumen de biogás generado en un proceso estándar de fermentación, con la capacidad de contener una muestra homogénea con un volumen máximo de 500 ml, a una temperatura de trabajo en el rango mesofílico ($35 \pm 1^\circ\text{C}$), con agitación leve para evitar asentamientos o capas de escoria en la superficie.

2.4.1.2 Dimensionamiento y selección de materiales bajo la Norma DIN 38414-S8

De acuerdo a la norma DIN 38414-S8 los materiales requeridos son (ver Figura 14):

Reactor (A)

Se seleccionó un frasco de boca ancha con esmerilado normalizado y tapón de vidrio, según norma DIN 12 039 W 500, a fin de asegurar la estanqueidad del proceso. Sus características se denotan en la Tabla 11.

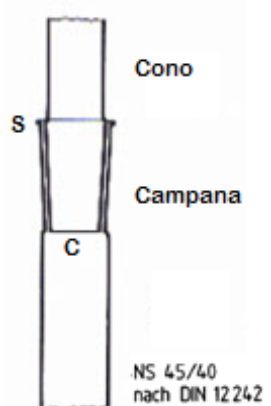
Tabla 11. Características del reactor según DIN 38414-S8

	COLOR DE VIDRIO (recomendado)	Ámbar
	CAPACIDAD [ml]	500
	DIÁMETRO (d) [mm]	86
	ALTURA (h) [mm]	163
	CUELLO (mm)	45/40

Fuente: Norma DIN 12039. (1976). Recipientes de laboratorio - frascos de reactivos hombro cónicos de boca ancha y esmerilado estándar.

La norma DIN 12242 indica también las dimensiones del cuello (ver Tabla 12).

Tabla 12. Detalle del cuello 45/40 del frasco boca ancha

	CONO	
	Diámetro (C) [mm]	40
	Longitud total [mm]	40
	CAMPANA	
Diámetro (S) [mm]	45	
Longitud total [mm]	40	

Fuente: Norma DIN 12242-1. (1980). Recipientes de laboratorio; articulaciones intercambiables cónicas de tierra, dimensiones, tolerancias.

Tubo Eudiómetro (B)

Este componente nos permitirá medir la cantidad de volumen generado en el reactor. Se requiere que registre un volumen de 400 ml, graduado de arriba hacia abajo (cero ubicado en D, ver Tabla 13).

Tabla 13. Material y dimensiones del Tubo eudiómetro

MATERIAL	Vidrio
CAPACIDAD [ml]	400
LONGITUD [mm]	≈1000
DIÁMETRO EXTERNO [mm]	30
DIÁMETRO INTERNO [mm]	26
DIÁMETRO DE ENTRADA Y SALIDA DE CONEXIONES [mm]	8
DIVISIÓN DE ESCALA [ml]	5

Fuente: Norma DIN 38414-S8. (1985). De lodos y sedimentos (grupo S) - Determinación de la digestión anaerobia. P6.

Tubo de conexión (C)

Este tubo permitirá el flujo de biogás generado desde el reactor hasta el tubo eudiómetro, el cual no deberá tener contacto con la mezcla o sustrato dentro del reactor. Debido a la composición química del biogás, se seleccionó un tubo de vidrio con las características indicadas en la Tabla 14.

Tabla 14. Características y dimensiones de Tubo de conexión

MATERIAL	Vidrio
LONGITUD [mm]	≈1000
DIÁMETRO EXTERNO (d) [mm]	6
DIÁMETRO INTERNO [mm]	4
ESPESOR DE PARED [mm]	1

Fuente: Norma DIN 38414-S8. (1985). De lodos y sedimentos (grupo S) - Determinación de la digestión anaerobia. P6.

Conexión de manguera (F)

Para la conexión entre el reactor (A) y el depósito de nivel (G) se colocó una manguera de caucho para laboratorio, con un diámetro interno de 8 mm y un externo de 12 mm. Se estimó una longitud total de 1300 mm para una mejor maniobrabilidad al momento de tomar mediciones.

Depósito de nivel (G)

Este depósito puede ser de vidrio o de plástico. Para este proyecto se escogió el plástico transparente debido al costo, el cual va a contener un fluido de confinamiento que servirá para alcanzar el punto D (cero) en el eudiómetro. Para determinar las dimensiones, se tomó el volumen como dato de cálculo. Las características del mencionado envase se describen a continuación en la Tabla 15.

Tabla 15. Características y dimensiones del depósito de nivel

MATERIAL	Plástico
CAPACIDAD [ml]	750
ALTURA (h) [mm]	182
DIÁMETRO (d) [mm]	100
DIÁMETRO DE SALIDA DE CONEXIÓN (O) [mm]	12

Fuente: Norma DIN 12037. (1974). Botellas Mariotte con esmerilado normalizado, sin válvula de drenaje.

El fluido de confinamiento está formado por: 30 ml de ácido sulfúrico, H_2SO_4 ($\rho=1,84g / ml$), 1 litro de agua destilada; 200 g de sulfato de sodio decahidratado, $Na_2SO_4 \cdot 10 H_2O$ disuelto. Se debe añadir unas pocas gotas de solución de naranja de metilo, para asegurar que el usuario tenga precaución con la manipulación del fluido de confinamiento, ya que éste podría ocasionar molestias al entrar en contacto con la piel, debido a que es un compuesto ácido. Se recomienda mantener dicho fluido a temperatura ambiente.

Para la construcción y ensamblaje del sistema para pruebas de laboratorio, ver sección planos esquemáticos.

2.4.1.3 Protocolo de funcionamiento

En esta sección se detalla el uso correcto del banco de pruebas, es decir desde la preparación de la muestra hasta el análisis de los resultados obtenidos en el ensayo por lote (batch).

Preparación de la muestra

- Separación de interferentes de forma manual, mecánica o hidromecánicamente antes del proceso de fermentación.
- Separación de contaminantes, particularmente se debe prestar atención al contenido de metales pesados.
- Homogenizar. Para el proceso se requiere que la muestra presente las mismas propiedades en toda la sustancia, haciéndola óptimamente biodisponible para ser fermentada.
- Tamaño de grano adecuado. Debe ser posible llevar a cabo el procedimiento de reducción de tamaño con el equipo más simple posible, en el lugar donde se realiza el muestreo. Para permitir la comparación de los resultados de diferentes ensayos de fermentación, se recomienda usar tamaños de partícula menores a 10 mm, como indica la directriz VDI 4630.
- El pH de la suspensión a ensayar se estableció entre 6.5 y 7.5 (ver sección 1.3.3), para evitar efectos inhibidores en el proceso.
- Proporcionar un inóculo idóneo para asegurar la fermentación anaeróbica (ver sección 2.3.2).

Procedimiento experimental

El ensayo de fermentación se realiza en un baño María controlado por un termostato o en una cámara termostáticamente controlada y con agitación magnética. De acuerdo con la norma DIN 38414-S8 y directriz VDI 4630 son necesarios los siguientes pasos para realizar un proceso por lotes:

- 1) Adquisición de muestras (sustrato).
- 2) Determinación del contenido de materia seca (MS) del sustrato y el inóculo de acuerdo con la norma DIN EN 12880, en la cual se indica que cada muestra debe ser colocada en un horno a $105 \pm 5^\circ\text{C}$, dejándolo secar hasta obtener una masa constante. Los valores relacionados con la masa para el residuo seco y contenido de agua son la diferencia entre la masa antes y después del secado.
- 3) Determinación del contenido orgánico de materia seca (MSO) del sustrato y el inóculo de acuerdo con la norma DIN EN 12879, se indica que cada muestra debe ser colocada en un horno de mufla a $550 \pm 25^\circ\text{C}$. La pérdida por ignición se calcula a partir de la diferencia de la masa antes y después del proceso de recocado.

- 4) Cálculo de los pesos del sustrato y el inóculo, basados en la directriz VDI 4630:
- Con el fin de estandarizar el proceso de fermentación, en cada muestra se deberá tener entre el 1,5% a 2% del peso total de la mezcla (MF) presente como inóculo. La cantidad de inóculo a utilizar para el experimento está dado por la siguiente ecuación:

$$m_{MSO} = MF * MSO \quad (1)$$

- Para evitar inhibiciones en el proceso de fermentación, debe cumplirse la siguiente relación:

$$\frac{MSO_{sustrato,mezcla}}{MSO_{inóculo,mezcla}} \leq 0,5 \quad (2)$$

Con la ayuda de esta ecuación, podemos determinar el contenido de materia orgánica seca del sustrato (MSO):

$$\frac{m_{MSO,sustrato}/m_{mezcla}}{m_{MSO,inóculo}/m_{mezcla}} \leq 0,5$$

$$\frac{m_{MSO,sustrato}}{m_{MSO,inóculo}} \leq 0,5 \quad (3)$$

- El contenido de materia seca en la mezcla no debe ser más del 10%, a fin de garantizar la cantidad de masa adecuada para el experimento.

$$MS = \frac{MF_{sustrato} * MS_{sustrato} + MF_{inóculo} * MS_{inóculo}}{MF_{mezcla}} \quad (4)$$

- Preparación de la mezcla (sustrato, inóculo y agua) hasta alcanzar un volumen de 500 ml.
- Determinación del valor de pH de la mezcla al inicio de la prueba.
- Colocación de la mezcla en el reactor junto con imán de 8 mm de diámetro y 32 mm largo.
- Inertización del reactor (A).
- Usando el depósito de nivel (G) conectado al tubo eudiómetro (B), se establece el cero ubicado en la posición (D) teniendo la válvula (H) abierta. Bajo ninguna circunstancia el fluido de confinamiento debe ingresar en el tubo de conexión (C), y así pasar a la muestra.
- Cerrar válvula (H).

- 11) Puesta en marcha: el agitador (50 a 100 rpm dependiendo el sustrato) y el termostato se conectan (temperatura deseada $35 \pm 1^\circ\text{C}$).
- 12) Realizar la medición diaria de la presión del aire y la temperatura ambiente.
- 13) Realizar la lectura del volumen de biogás generado, cuando el nivel del líquido confinado dentro del tubo eudiómetro sea igual con el depósito de nivel.
- 14) Registrar las lecturas del volumen del biogás generado en la siguiente tabla (ver Tabla 16).

Tabla 16. Registro diario para prueba de laboratorio por lotes

#	FECHA (dd.mm.aa)	PRESIÓN AMBIENTE (mbar)	TEMPERATURA AMBIENTE (K)	VOLUMEN ESTÁNDAR DIARIO (ml)	VOLUMEN ESTÁNDAR ACUMULADA (ml)
1					
2					
3					

Fuente: Elaboración propia.

- 15) Calcular el volumen estándar del biogás producido.
- 16) Recolección de biogás en bolsas plásticas (se abre la llave de paso H).
- 17) Determinación de la calidad del biogás recolectado, con la ayuda de un analizador de gases (cromatógrafo de gases).
- 18) El experimento se realiza hasta generar volúmenes relativamente pequeños en comparación a los días anteriores del ensayo.
- 19) Determinación del valor del pH de la mezcla al final del experimento.
- 20) Presentación de los resultados diarios y la producción total de biogás, así como la composición del mismo.

Detalle de los resultados

Con base en los datos registrados en el experimento (ver Tabla 16), se realizan las respectivas gráficas de producción de biogás (ver Figuras 19 y 20), así como el análisis de la calidad del biogás obtenido con la ayuda del cromatógrafo (ver Figura 21). Las gráficas mostradas representan el proceso de fermentación de restos de plantas de maíz con aguas servidas de una planta de tratamiento en la ciudad de Offenburg (Alemania), a una temperatura de 39°C (rango mesofílico), realizada desde el 19 de junio hasta el 16 de julio del 2009.

PRODUCCIÓN DIARIA DE BIOGÁS

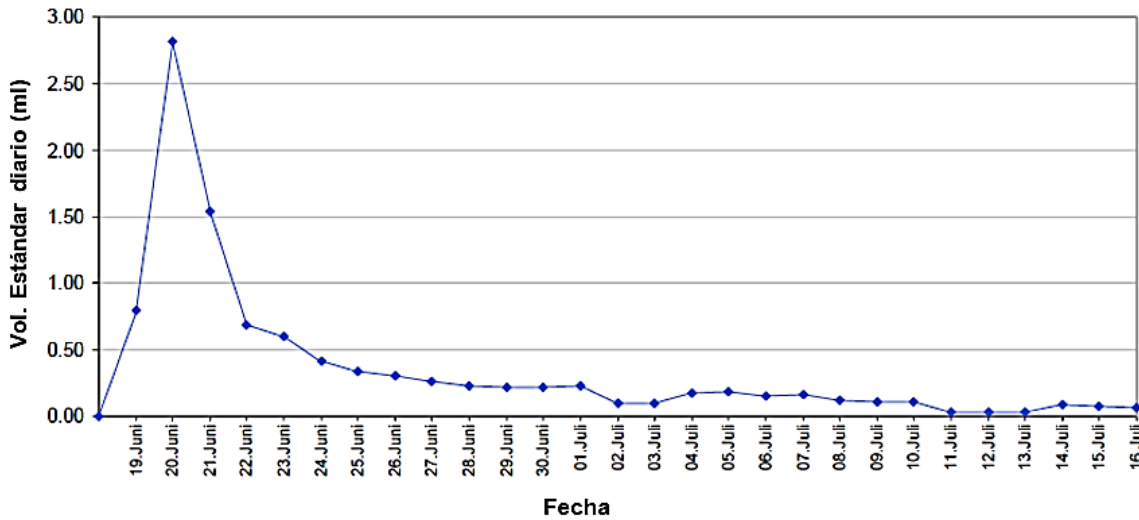


Figura 19. Ejemplo de la gráfica de la producción diaria de biogás en un proceso estándar de fermentación

Fuente: SÁNCHEZ ZURITA, Carola. Influencia de los cultivos iniciadores en un proceso estándar de fermentación para determinar el potencial de producción de biogás. Offenburg, 2009, 87 h. Tesis de maestría (Master of Science). Universidad de Offenburg. Facultad de Ingeniería Mecánica y de Ingeniería de Procesos.

PRODUCCIÓN TOTAL DE BIOGÁS

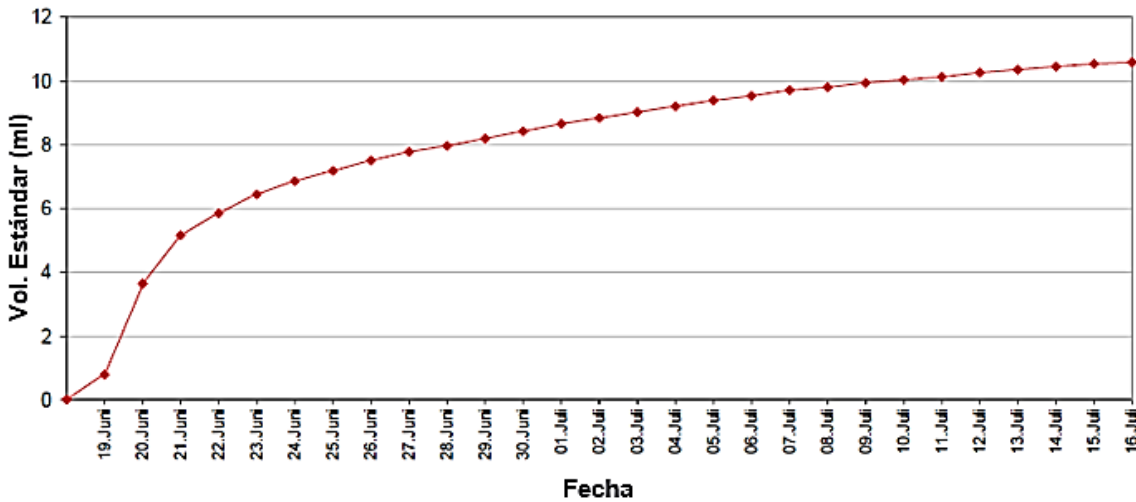


Figura 20. Ejemplo de la gráfica de la producción total de biogás en un proceso estándar de fermentación

Fuente: SÁNCHEZ ZURITA, Carola. Influencia de los cultivos iniciadores en un proceso estándar de fermentación para determinar el potencial de producción de biogás. Offenburg, 2009, 88 h. Tesis de maestría (Master of Science). Universidad de Offenburg. Facultad de Ingeniería Mecánica y de Ingeniería de Procesos.

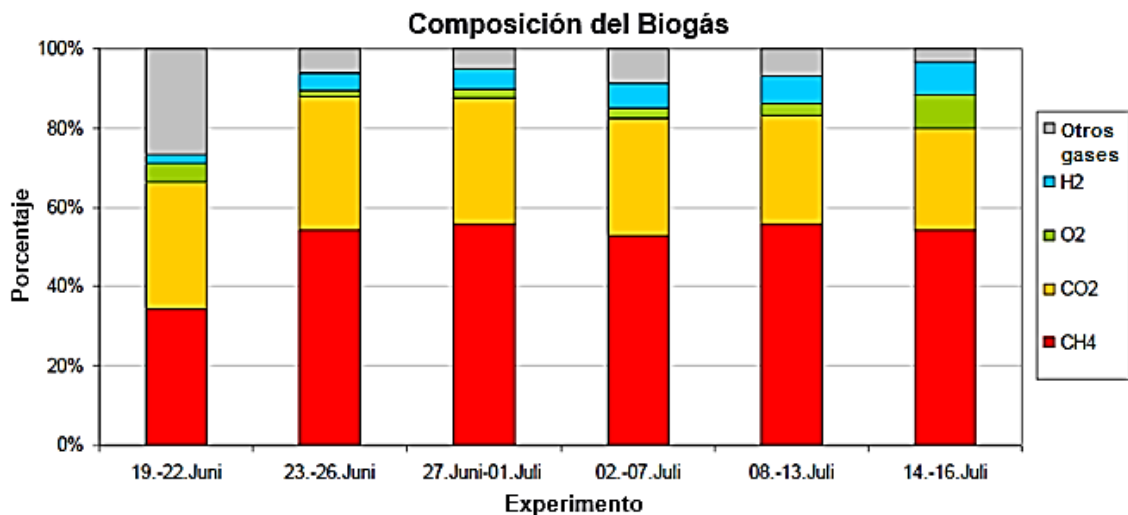


Figura 21. Ejemplo de la gráfica de la composición del biogás en un proceso estándar de fermentación

Fuente: SÁNCHEZ ZURITA, Carola. Influencia de los cultivos iniciadores en un proceso estándar de fermentación para determinar el potencial de producción de biogás. Offenburg, 2009, 90 h. Tesis de maestría (Master of Science). Universidad de Offenburg. Facultad de Ingeniería Mecánica y de Ingeniería de Procesos.

Informe de resultados

El informe debe incluir los siguientes detalles:

- a) Los componentes de la muestra (sustrato e inóculo).
- b) Expresar el resultado de conformidad como se ha indicado en la sección “detalle de los resultados”.
- c) Cualquier desviación en el procedimiento de este método debe ser especificado (fugas, inhibición del proceso, entre otros), debido a que puede influir en los resultados del experimento.

2.4.2 Sistema de fermentación para un biodigestor familiar

El diseño del biodigestor debe ser de bajo costo, fácil instalación y mantenimiento; además de estar conformado por materiales fáciles de conseguir en el mercado local. La Figura 22 muestra un diseño de forma básico de este tipo de sistema.

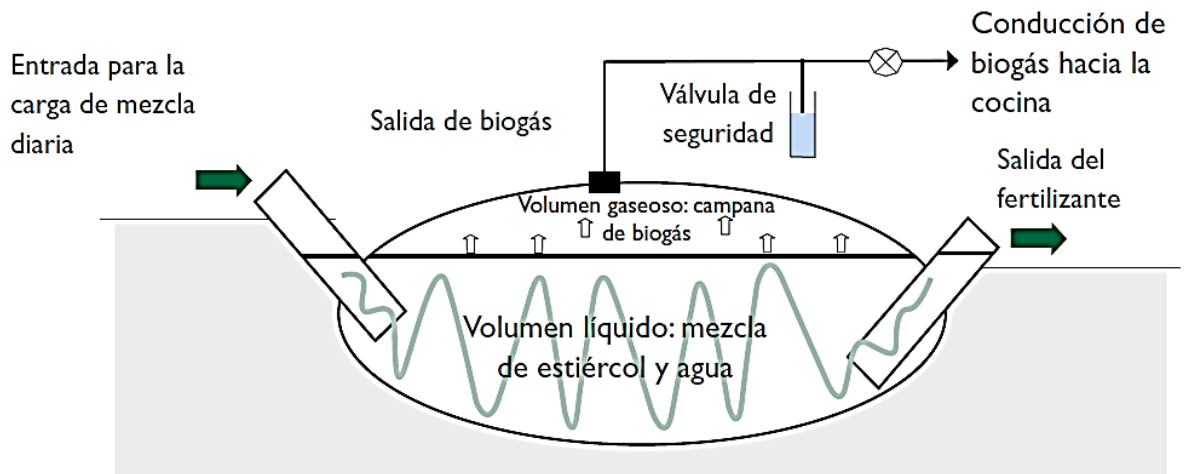


Figura 22. Esquema básico de un biodigestor y sistema tuberías para conducción de biogás hacia la cocina

Fuente: Martí Jaime, (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. P28.

2.4.2.1 Condiciones de diseño

Para el diseño de un biodigestor, se toma en consideración la temperatura ambiente media del lugar, debido a la relación temperatura-tiempo de retención (ver Figura 22). Además es importante la carga diaria disponible, ya determina el volumen de la cámara del biodigestor.

Para el desarrollo del proyecto se tomó como premisa que sea para una familia de 5 personas, para lo cual se estableció las siguientes condiciones mínimas:

- Poseer 5 vacas que pasten en el día y en la noche permanezcan en el corral, de lo cual solo se podrá recoger el 25% de estiércol producido a lo largo del día (Martí Jaime, 2008. Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación).
- Poseer 2 cerdos.
- Disponer de residuos vegetales y domésticos.
- La temperatura del proceso dentro del biodigestor debe estar fijada en el rango mesofílico (ver Tabla 3), y la temperatura ambiente debe oscilar entre 20 - 38°C.

A continuación en la Figura 23 se presenta la metodología del diseño que se utilizó.

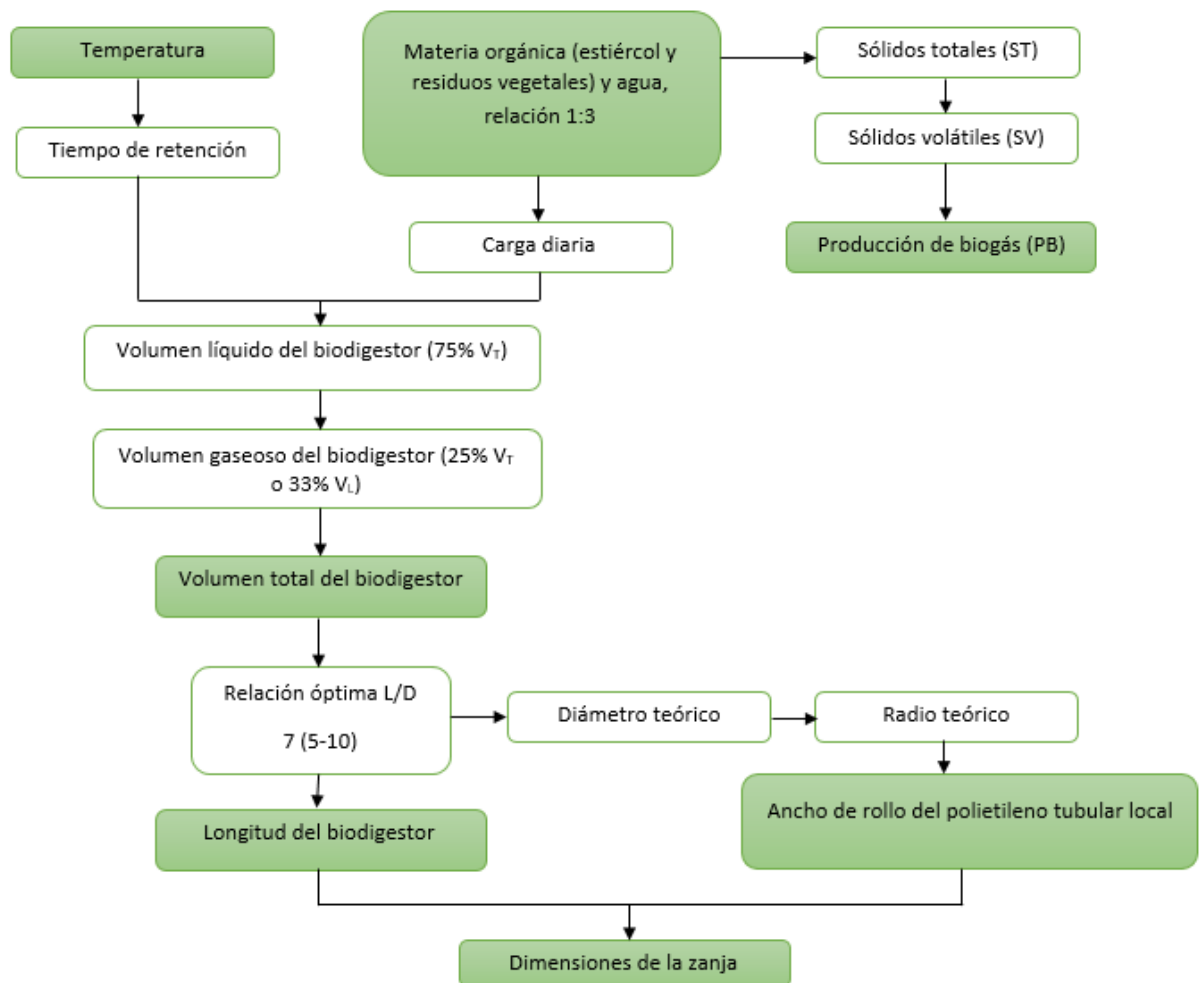


Figura 23. Esquema de la metodología del diseño para biodigestor familiar

Fuente: Elaboración propia.

2.4.2.2 Cálculo y selección de materiales y componentes

Tiempo de retención (días)

Para la obtención del tiempo de retención es importante disponer de la temperatura ambiente. Para la provincia de Guayas se asume una temperatura ambiente promedio de 30°C.

Tomando como base este dato de acuerdo a Martí Jaime el tiempo de retención recomendado se muestra en la tabla 17.

Tabla 17. Tiempos de retención estimados bajo según la temperatura ambiente

REGIÓN CARACTERÍSTICAS	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE RETENCIÓN (días)
Trópico	30	25
Valle	20	37
Altiplano	10	75

Fuente: Martí Jaime, (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. P27.

Por otro lado, Creus Antonio sugiere que los tiempos de retención están dados por la siguiente ecuación donde la temperatura involucra es la de ambiente.

$$TR = -51.227 * \ln(T^{\circ}C) + 206,72 \quad (5)$$

Para la temperatura promedio de la provincia del Guayas se calculó el tiempo de retención:

$$TR = -51.227 * \ln(30^{\circ}C) + 206,72 = 32,48 \text{ días}$$

El tiempo de retención para este trabajo final de graduación se lo obtuvo calculando un promedio entre la Tabla 17 y el valor calculado en la ecuación (5). Entonces el tiempo de retención promedio corresponde a aproximadamente a 29 días.

Cantidad de estiércol fresco (kg)

De igual manera, se estimó la cantidad de estiércol fresco que se obtiene a diario con la ayuda de la Tabla 18.

Tabla 18 Producción de estiércol fresco diario

ESPECIE	kg DE ESTIÉRCOL FRESCO PRODUCIDO POR CADA 100 kg DE PESO DE LA ESPECIE
Porcino	4
Bovino	8
Caprino	4
Conejos	3
Equino	7
Humano adulto	0,4 kg por adulto
Humano niño	0,2 kg por niño

Fuente: Martí Jaime, (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. P27.

El peso promedio de una vaca es aproximadamente 265 kg (según la Asociación de Ganaderos del Litoral y Galápagos para vacas de la regiones rurales de la provincia del Guayas), produce al día 21 kg de estiércol fresco, que en caso de ser pastoreada durante el día y en la noche se encuentre dentro del corral, sólo se podrá recoger el 25% del estiércol (sólo del corral, con se indica en Martí Jaime, (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación), es decir, 5,25 kg. Al asumir que se requieren 5 vacas, se tiene que el total de estiércol producido es de 26,25 kg. De igual manera, asumiendo que se tienen dos cerdos que pesan 70 kg cada uno, estos producirán 2,8 kg de estiércol diario.

Cantidad de materia orgánica vegetal (kg):

Para poder utilizar residuos vegetales se tiene que realizar un pretratamiento, que consiste en moler los residuos, además de restringir la cantidad de material a ingresar al biodigestor por razones de taponamiento del mismo.

Estudios desarrollados por Callaghan y colaboradores en 1999, muestran la ventaja de la codigestión con residuos vegetales y estiércol animal (ver Tabla 19).

Tabla 19. Influencia la materia orgánica vegetal añadida en la producción de biogás

% MATERIA ORGÁNICA VEGETAL AÑADIDA	I BIOGÁS/kg SV ELIMINADOS	% METANO	I METANO/kg SV ELIMINADOS
0	202	70,68	143
25	654	74,51	487
50	492	78,30	385
75	419	75,90	318
100	387	75,53	292

Fuente: Alfredo Lietti, (2008). La Valorización Energética del Biogás de Digestión Anaeróbica.

De los resultados mostrados, se observa que al 25% de residuos vegetales se obtiene un volumen mayor de biogás, con una calidad 74,51% (porcentaje volumétrico de metano), dando como resultado un mayor volumen de metano por kg de sólidos volátiles eliminados, a pesar del que al 50% de residuos vegetales se obtenga un mejor calidad de metano (78,51%), no genera el mismo volumen que su inmediato inferior.

Entonces que se tiene que:

$$\text{Estiércol animal} = 26,25 \text{ kg(vacuno)} + 5,6 \text{ kg(porcino)} = 31,85 \text{ kg}$$

$$\text{Materia orgánica vegetal} = (0,25) * (\text{estiércol animal}) = (0,25) * (31,85)$$

$$\text{Materia orgánica vegetal} = 7,96 \text{ kg}$$

El valor obtenido representa la masa vegetal diaria con la que hay que cargar al biodigestor. Sin embargo esta cantidad solo puede ser conseguida en temporada de cosecha; además que tal cantidad de material sólido podría ocasionar el taponamiento del biodigestor, por lo tanto se procede a asumir una tasa de 10%, es decir:

$$\text{Materia orgánica vegetal} = (0,1) * (\text{estiércol animal}) = (0,1) * (31,85)$$

$$\text{Materia orgánica vegetal} = \boxed{3,19 \text{ kg}}$$

Esta masa si es factible de obtener diariamente independientemente de la temporada de cosecha de la región, además no representa inconvenientes por taponamiento en el proceso de fermentación.

Volumen del biodigestor:

Con los siguientes datos se empieza a diseñar el biodigestor:

$$\text{Tiempo de retención calculado} = 29 \text{ días}$$

$$\text{material orgánico diario} = 31,85 \text{ kg/día} + 3,19 \text{ kg/día} = 35 \text{ kg/día}$$

La mezcla entre la materia orgánica y agua se tomó en una relación 1:3 (Martí Jaime, (2008). *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*). De acuerdo a la referencia anterior se utiliza una relación menor de agua el biodigestor se atasca.

$$\text{Agua necesaria} = 3(\text{material orgánico}) = 3(35) \text{ l/día} = 105 \text{ l/día}$$

Se halla la carga diaria:

$$\text{Carga diaria} = (35 \text{ kg de material orgánico} + 105 \text{ l de agua})/\text{día}$$

$$\text{Carga diaria} = 140 \frac{\text{l}}{\text{día}} = 0,14 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Con los datos se procedió a diseñar el volumen de la cámara del biodigestor, todas las ecuaciones fueron tomadas de Martí Jaime, (2008). *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*.

Primero se halla el volumen del biodigestor con líquido, de acuerdo a la ecuación (6):

$$\text{Volumen del líquido} = \text{Tiempo de retención} * \text{Carga diaria} \quad (6)$$

$$\text{Volumen del líquido} = (29 \text{ días}) * \left(0,14 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right) = \boxed{4,1 \text{ m}^3}$$

Después con la ecuación (7), se calcula el volumen del gas:

$$\text{Volumen del gas} = \frac{1}{3} \text{Volumen del líquido} \quad (7)$$

$$\text{Volumen del gas} = \frac{1}{3} (4,1 \text{ m}^3) = \boxed{1,4 \text{ m}^3}$$

Por último se halla el volumen total de la cámara del biodigestor con la ecuación (8):

$$V_T = \text{Volumen Total} = \text{Volumen del líquido} + \text{Volumen del gas} \quad (8)$$

$$V_T = 4,1 \text{ m}^3 + 1,4 \text{ m}^3 = \boxed{5,5 \text{ m}^3}$$

Una relación óptima para las dimensiones del biodigestor viene dada por la ecuación (9):

$$\frac{\text{Longitud}}{\text{Diámetro}} = \frac{L}{D} = 5 \text{ a } 10, \text{ siendo } 7 \text{ el nivel óptimo} \quad (9)$$

El volumen del biodigestor se lo aproximó al de un cilindro, es decir:

$$V_T = \frac{\pi D^2 L}{4} \quad (10)$$

Asumiendo una relación entre longitud y diámetro (11):

$$\frac{L}{D} = 7 \rightarrow L = 7D \quad (11)$$

Se reemplaza la ecuación (11) en (10):

$$V_T = \frac{7\pi D^3}{4}$$
$$D = \sqrt[3]{\frac{4V_T}{7\pi}}$$

Con los datos, se encuentra el diámetro y la longitud teóricos del biodigestor:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4(5,5 \text{ m}^3)}{7\pi}} = \boxed{1 \text{ m}}$$

$$L = 7(1) = \boxed{7 \text{ m}}$$

ST: Sólidos totales (kg/m³)

Para la estimación de la producción de biogás, se tienen que calcular los sólidos totales, debido que con éstos se determinan los sólidos volátiles. Para el caso de

estiércol puede variar de 13 a 20%. Tomando como referencia de *Martí Jaime, (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*, el autor indica que para el estiércol este valor es de 17% del estiércol fresco.

SV: Sólidos volátiles (kg/m³ día)

Es la porción de la materia orgánica que se puede eliminar o volatilizarse. Para el estiércol, su valor aproximado es 77% de los sólidos totales introducido por día, referencia tomada por *Martí Jaime, (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*.

PB: Producción de biogás (m³ de biogás/kg SV m³ día)

Este parámetro depende de la cantidad de sólidos volátiles presentes en el sustrato. Por esto, conociendo los sólidos volátiles y dependiendo el tipo de sustrato, la producción de biogás puede ser mayor o menor. En la Tabla 20 se muestra el factor de producción el cual sirve para la obtención de la producción de biogás.

Tabla 20. Producción de biogás para el ganado porcino y bovino

GANADO	FACTOR DE PRODUCCIÓN	FACTOR GENERAL
Porcino	0,25-0,50	0,39
Bovino	0,25-0,30	0,27

Fuente: Martí Jaime, (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. P43.

De los cálculos anteriores se tiene que:

- La carga diaria es de 26,25 kg de estiércol de vaca, 5,6 kg de estiércol de cerdo y 3 kg de residuos orgánicos vegetales.
- El volumen líquido (V_L) es 4,1 m³.

La ecuación (7) expresa la cantidad de solidos totales presente en el sustrato por el volumen líquido de biodigestor:

$$ST = carga\ diaria \cdot \frac{\%ST}{V_L} \quad (7)$$

La ecuación (8) expresa la cantidad de solidos volátiles presentes en los sólidos totales:

$$SV = ST \cdot \%SV \quad (8)$$

Para la estimación de la producción de biogás se utiliza la ecuación (9), el factor de producción (m^3 de biogás/kg de SV) se puede observar en la Tabla 21:

$$PB = \text{factor de producción} \cdot SV \quad (9)$$

Para el estiércol de vaca:

$$ST = 26,25 \frac{kg}{día} \cdot \frac{0,17}{4,1 m^3} = 1,08 \frac{kg}{m^3 \cdot día}$$

$$SV = 1,08 \frac{kg}{m^3 \cdot día} \cdot 0,77 = 0,83 \frac{kg}{m^3 \cdot día}$$

$$PB = 0,27 \frac{m^3 \text{ de biogás}}{kg} \cdot 0,83 \frac{kg}{m^3 \cdot día} = 0,22 \frac{m^3 \text{ de biogás}}{m^3 \cdot día}$$

Para el estiércol de cerdo:

$$ST = 5,6 \frac{kg}{día} \cdot \frac{0,17}{4,1 m^3} = 0,23 \frac{kg}{m^3 \cdot día}$$

$$SV = 0,23 \frac{kg}{m^3 \cdot día} \cdot 0,77 = 0,18 \frac{kg}{m^3 \cdot día}$$

$$PB = 0,39 \frac{m^3 \text{ de biogás}}{kg} \cdot 0,18 \frac{kg}{m^3 \cdot día} = 0,07 \frac{m^3 \text{ de biogás}}{m^3 \cdot día}$$

Para los residuos orgánicos vegetales:

No existen datos referenciales para estimar la cantidad de biogás que generan los residuos vegetales. El Instituto Tecnológico de la Industria Agroalimentaria (AINIA) tiene estimaciones de la producción de biogás de residuos vegetales, como como muestra la Figura 24.

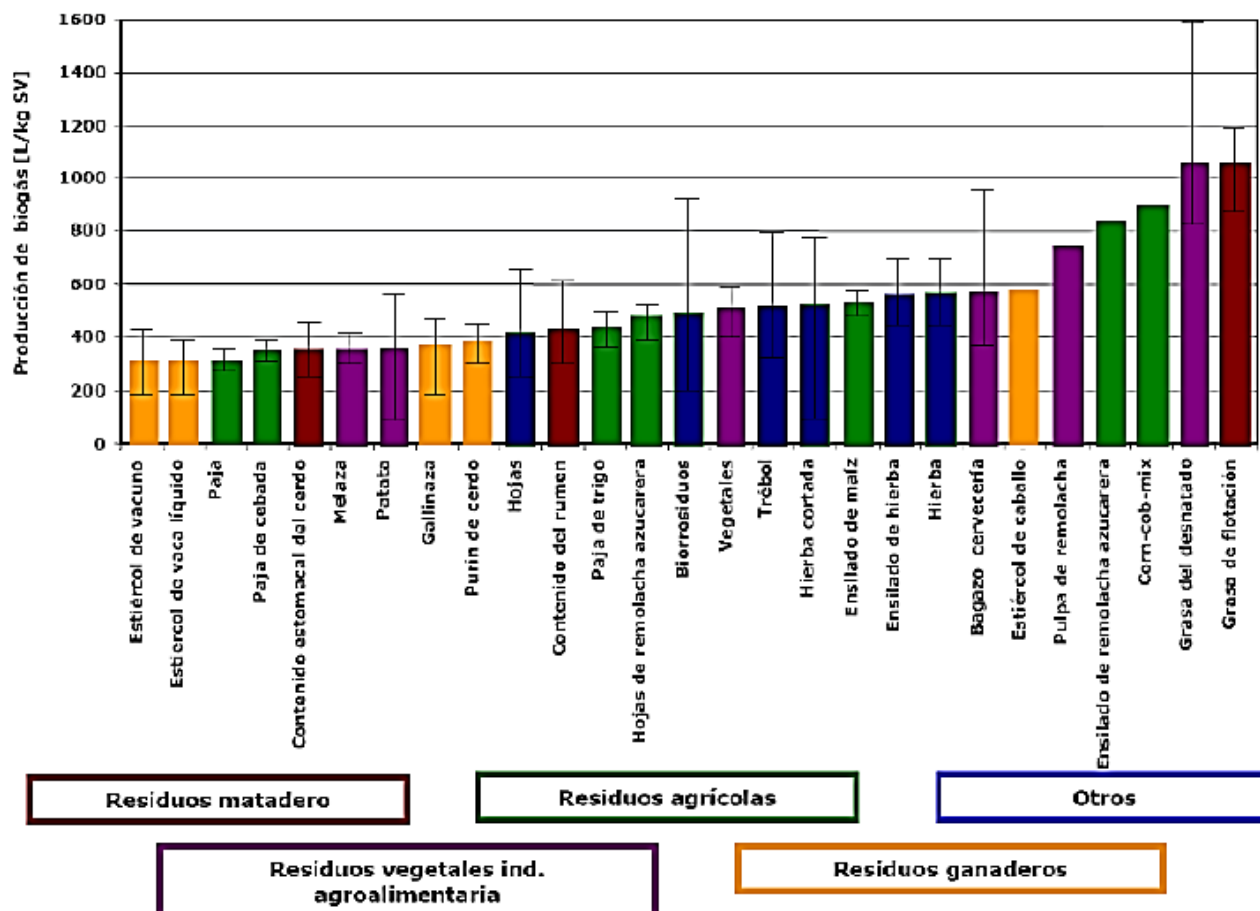


Figura 24. Rangos de producción potencial de biogás en función del residuo agroindustrial utilizado

Fuente: Datos del AINIA, (2007).

Por lo tanto, la producción aproximada del biodigestor, sin tomar en cuenta los residuos orgánicos vegetales, es:

$$PB = 0,22 \frac{m^3 \text{ de biogás}}{m^3 \cdot \text{día}} + 0,07 \frac{m^3 \text{ de biogás}}{m^3 \cdot \text{día}} = 0,29 \frac{m^3 \text{ de biogás}}{m^3 \cdot \text{día}}$$

Esta producción de biogás se encuentra en función al volumen líquido del biodigestor, por lo tanto:

$$0,29 \frac{m^3 \text{ de biogás}}{m^3 \cdot \text{día}} \cdot 4,1 m^3 = 1,18 \frac{m^3 \text{ de biogás}}{\text{día}}$$

Esta producción se vería incrementada aproximadamente a 1,48 m³ de biogás, gracias al aporte de la materia orgánica vegetal.

Selección del rollo de polietileno tubular

Se selecciona mangas de polietileno tubular negro por sus propiedades físicas (resistencia y hermeticidad). Las mangas de polietileno tubular se comercializan en el mercado nacional en rollos de 50 m.

Con el ancho del rollo se calculó las medidas definitivas del biodigestor, además de comparar la relación de longitud y diámetro para la correcta selección (ver Tabla 21).

Tabla 21. Dimensiones según el ancho de rollo encontrado en el mercado

ANCHO DE ROLLO (m)	RADIO (m)	DIÁMETRO (m)	SECCIÓN EFICAZ ($\pi \cdot r^2$)	LONGITUD DEL BIODIGESTOR ($V_T/\text{Secc. Efic.}$) (m)	RELACIÓN L/D
1,00	0,32	0,64	0,32	17,2	26,85
1,25	0,40	0,80	0,50	11	13,75
1,50	0,48	0,96	0,72	7,6	7,92
1,75	0,56	1,12	0,97	5,7	5,09
2,00	0,64	1,28	1,27	4,3	3,36

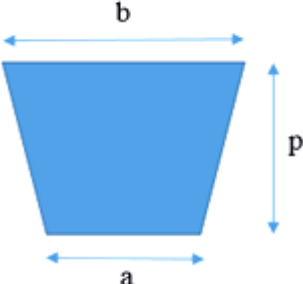
Fuente: Elaboración propia.

Siendo el más óptimo para este diseño el ancho de rollo de 1,50 m.

Dimensionamiento de la zanja

La longitud de la zanja está dada por la longitud del biodigestor; mientras que la profundidad y ancho dependen del ancho del rollo empleado en la construcción (ver Tabla 22).

Tabla 19. Dimensiones de la zanja según el Ancho de Rollo (AR)

	AR (m)	2	1,75	1,50	1,25	1
	a (m)	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
	b (m)	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
	p (m)	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Fuente: Elaboración propia.

Para este caso las dimensiones de la zanja son a= 0,5 m, b= 0,7 m y p= 0,8 m.

Sistema de producción de biogás para uso familiar

Los materiales y herramientas necesarios para la construcción del biodigestor familiar se muestran en la Tabla 23.

Tabla 20. Materiales y herramientas para la construcción del biodigestor

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
1	Manga de polietileno tubular ancho de 1,50 m
2	Liga de neumático
3	Toma para tanque de ½"
4	Tubo de PVC de 6" de 1 m de largo
5	Sierra
6	Tarraja ½"
7	Teflón
8	Tijeras
9	Selladora manual de plástico de 16"
10	Llave de tubo de 8"

Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento de construcción

1. Se debe cortar dos piezas de polietileno tubular del diámetro seleccionado y del tamaño deseado (7,6 m) más 1 m adicional, el cual será usado para amarrar 50 cm a la tubería de entrada y 50 cm a la tubería de salida (ver Figura 25).



Figura 25. Desenrollando el rollo de polietileno tubular

Fuente: Martí Jaime, (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. P34.

2. Una manga de plástico se extiende en el suelo, y la otra se recoge con cuidado en uno de sus extremos, para después agarrar el extremo de la manga recogida, y sin soltarla, se cruza por el interior de la otra, de manera que se tenga una

manga de plástico de doble capa. Hay que evitar las arrugas interiores y tratar de hacer coincidir las dos capas.

3. Se realiza un corte pequeño sobre las dos capas de plástico para colocar la salida del biogás, conviene hacer este corte en la mitad del biodigestor, pero más cerca de la entrada para facilitar la salida del biogás (ver Figura 26).



Figura 26. Corte del plástico

Fuente: Martí Jaime, (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. P59.

4. Al introducir una toma para la salida del biogás, se abrirá el corte cuidadosamente, poco a poco, hasta que la toma pueda atravesarlo (ver Figura 27).



Figura 27. Colocación de toma para salida de biogás

Fuente: Martí Jaime, (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. P59.

5. Después se coloca un sello alrededor de la toma para salida del biogás, esto sirve para asegurar que no se presenten posibles fugas. Luego se coloca teflón en la rosca de la toma y se une la parte exterior de la misma, para después ajustar con una llave de tubo (ver Figura 28).



Figura 28. Ajuste de toma para salida de biogás

Fuente: Martí Jaime, (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. P59.

6. Se sellan los extremos del plástico (ver Figura 29).



Figura 29. Sellado de los extremos del plástico

Fuente: Martí Jaime, (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. P70.

7. Para la entrada y salida del biogás se le acopla una tubería de PVC de ½" de 1 metro de longitud, la cual va amarrada con cinta de neumático (ver Figura 30).



Figura 30. Tubería de PVC para entrada y salida

Fuente: Martí Jaime, (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. P60.

8. En la toma se coloca una tubería con una llave de bola y se la cierra.

Tubería entrada y salida del biodigestor:

Las tuberías son de PVC de 6" de diámetro con un largo de 1 m. Se tiene que tener en cuenta las siguientes consideraciones para su correcta instalación:

- Proteger las bocas del tubo de entrada y de salida que van a estar dentro del biodigestor para evitar daños con el plástico del biodigestor, esto se logra amarrando liga de neumático sobre el extremo.
- Quedarán 20 cm de tubo a la vista, 50 cm que serán amarrados sobre el plástico y 30 cm en el interior libres.
- Para amarrar la liga, cada vuelta tiene que solaparse por encima con la anterior, después de amarrar los 50 cm de plástico se continúa amarrando sobre la tubería 10 cm más.
- Una vez asentado el biodigestor se calculan los niveles de las tuberías de salida y entrada, para que la tubería de salida que esta última este un nivel mucho más elevado que la tubería de entrada (ver Figura 31).

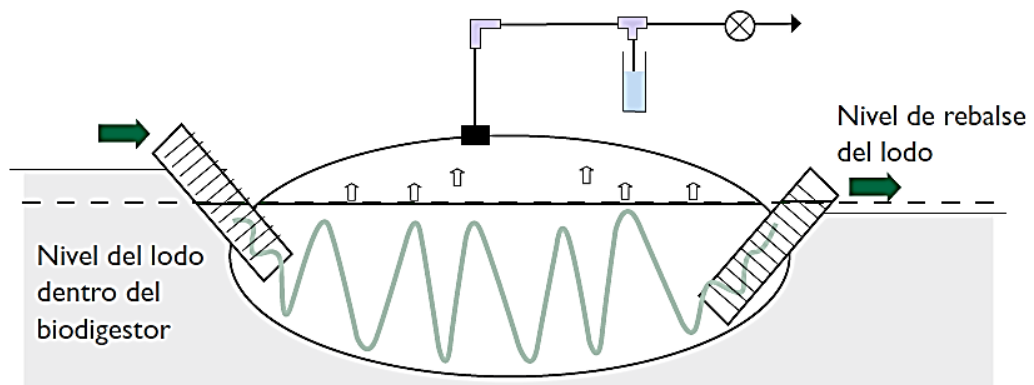


Figura 31. Nivel del tubo de entrada con respecto al tubo de salida

Fuente: Martí Jaime, (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. P63.

Construcción de la zanja:

Para la construcción de la zanja no es necesario tener desnivel, aunque se permite hasta un 5% de inclinación. Se debe cavar un canal inclinado, con un ángulo de 45° en las paredes para colocar las tuberías de entrada y salida (ver Apéndice B).

En el piso de la zanja se debe colocar arena o paja, para cuando se coloque el biodigestor en la zanja no presente problemas de asentamientos irregulares. Además, se debe proteger el biodigestor del suelo utilizando una cubierta de polietileno. Si se instala en una región fría, se debe aislar térmicamente con poliuretano. Cuando se coloca el biodigestor dentro de la zanja no debe tener arrugas, y el plástico no debe rozar con la zanja porque podría dañar al plástico.

Línea de biogás hacia la cocina:

Las líneas de biogás deben ser de PVC. Se asumió que el biodigestor se encuentra a unos 20 m de la cocina, para evitar olores y que no tengan problemas de obstrucción con el paso normal de la gente.

Los materiales y herramientas necesarios para realizar la conducción de biogás se muestran en la Tabla 24.

Tabla 21. Materiales y herramientas para la línea de biogás

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
1	Tubería de PVC de ½"
2	Codos de 90° PVC de ½"
3	Niples PVC de ½" (adaptadores)
4	Tee PVC de ½"
5	Llave de bola de ½" de PVC
6	Unión Universal de PP
7	Tubo de hierro de ½" con rosca de 12 cm
8	Tubo de hierro de ½" con rosca de 7 cm
9	Codo de hierro de ½" con rosca

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza la instalación como cualquier línea de agua hacia la casa.

Válvula de seguridad:

Esta válvula permite que en caso de no consumir biogás, éste pueda escapar. La válvula se coloca cerca del biodigestor para poder revisarla periódicamente. En la Figura 32 se muestra la válvula de seguridad, la cual está elaborada por una tee, un tubo y un recipiente plástico. El recipiente se encuentra lleno de agua, la cual se debe reponer a medida que se vaya evaporando.



Figura 32. Válvula de seguridad de construcción manual

Fuente: Martí Jaime, (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. P69.

Filtro para tubería:

La función principal del filtro es detener el paso del ácido sulfhídrico que se genera en la digestión anaeróbica, evitando así el olor a huevo podrido (característico del azufre), y mitigando los daños por corrosión causados por el este. Para la colocación del filtro se usa estropajo o lana de acero dentro de un tramo de la tubería de conducción de biogás. El filtro es corroído por el ácido sulfhídrico, lo que resulta en una disminución de la concentración del mismo.

Protección del biodigestor:

Consta de estacas de madera, una malla de acero y polietileno transparente. La protección tiene dos propósitos:

- Aumentar la temperatura, por tal motivo el techo es de polietileno transparente.
- Proteger al biodigestor de los animales, personas y el clima.

Para la construcción y ensamblaje del sistema de producción de biogás para uso doméstico (biodigestor), ver Apéndice B.

2.4.2.3 Protocolo de funcionamiento y mantenimiento

Se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones.

- Después de haber instalado el biodigestor, se tiene que realizar la primera carga con materia orgánica y agua suficiente para tapar las bocas interiores de los tubos de entrada y salida.
- El segundo día se deberá comenzar colocando la carga diaria estimada en los cálculos, mezclando con una relación agua-materia orgánica de 3:1. Esto asegura la producción de biogás estimada.
- La materia orgánica vegetal debe ser molida en granos muy pequeños antes de entrar en la mezcla, para evitar taponamiento y aumento en los tiempos de retención.
- Para mezclar la carga diaria se puede hacer una caja a la entrada del biodigestor, de manera que echando el estiércol sobre esa caja se vaya mezclando con el agua y caiga la mezcla diluida al interior del mismo.
- Una vez lleno el biodigestor, se debe controlar la descarga del biol para su respectivo almacenamiento, y uso como fertilizante. A la salida del biodigestor conviene hacer una poza, de un metro de profundidad y de un metro de lado, donde se vaya acumulando el fertilizante, la cual debe estar tapada para proteger de la radiación solar.
- Se debe revisar periódicamente la válvula de seguridad, debido a que el agua presente en esta se evapora y el biogás puede escapar. Además, puede ingresar aire al biodigestor por la válvula de seguridad, lo cual inhibe al proceso de fermentación anaeróbica.
- El tiempo de vida de un biodigestor es de 6 a 10 años y los materiales pueden ser reutilizados y reciclados.
- Se debe proteger el biodigestor con un cerramiento para evitar posibles daños causados por animales o personas. Además cuidar el techado que cubre al biodigestor.
- Se debe vigilar la condensación del agua en la línea de biogás. Si se llega a acumular el agua, se presentan problemas a la llegada a la cocina y si no se resuelve no llega biogás. Para estos casos hay que purgar las tuberías. En las líneas existen lugares con luz donde se acumula el agua condensada, en esos puntos se debe colocar una tee con un tapón para drenar el agua. Se puede hacer también la línea inclinada para que el agua caiga hacia la válvula de seguridad, o a otro punto donde se pueda drenar o purgar el agua.
- En caso de presentar perforaciones de hasta 5 cm se puede reparar con un tapón, si es de mayor a 5 cm hasta 1 m se lo puede reparar con una placa empernada, mayor a esto no se puede reparar.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1. Presentación y análisis de resultados

Banco de pruebas para laboratorio

El diseño del sistema de producción de biogás para pruebas de laboratorio se desarrolló bajo normas internacionales, siendo la norma DIN 38414 y la directriz VDI 4630 las más relevantes, que detallan los parámetros y lineamientos de diseño apropiados para su óptimo funcionamiento. A continuación se presenta el análisis de las consideraciones de diseños obtenidas:

Dimensiones:

Para el dimensionamiento del sistema se tomó en cuenta las especificaciones de las normas mencionadas, es decir capacidades volumétricas y longitudes de los principales componentes del sistema, permitiendo la búsqueda de cada componente según la disponibilidad en el mercado local, a fin de poder realizar las respectivas adaptaciones para cumplir con el estándar propuesto. De esta manera se asegura que el protocolo de funcionamiento desarrollado para el sistema se cumpla de la manera más eficiente.

Materiales:

Debido a que en este tipo de procesos la materia orgánica no debe ser afectada en su degradación, los materiales más óptimos para mantener un ambiente inerte son el vidrio (reactor, tubo eudiómetro) y los polímeros como el plástico y el caucho (depósito de nivel, mangueras, válvula, etc.); debido a que los productos resultantes del proceso de fermentación no reaccionan con estos materiales y se evita la alteración del proceso, con lo cual no se afectarían las mediciones del experimento a realizar en este sistema de generación de biogás. Además, se debe destacar que los materiales seleccionados son resistentes a ambientes corrosivos (presencia de ácido sulfhídrico), de larga duración, bajo costo y fácil mantenimiento, que son características importantes que se deben tomar en cuenta en este diseño.

Método de agitación:

El sistema debe mantenerse a condiciones de temperatura constante (37°C), con una leve agitación para evitar los sedimentos y creación de capas de escorias que perjudiquen al desarrollo del proceso de fermentación. Debido a esto, se seleccionó un equipo de agitación magnético, cuyo funcionamiento se basa en una plataforma que induce un campo magnético dentro del reactor, haciendo girar a una capsula magnética, lo que mantiene al sustrato depositado en constante

movimiento para evitar efectos inhibidores. También cuenta con un calentador, que permite mantener la temperatura constante para el proceso en la prueba de laboratorio. De esta manera se asegura que el proceso se realice bajo las condiciones iniciales planteadas para el diseño, obteniendo resultados óptimos en el estudio de determinado sustrato.

Biodigestor familiar

Para el diseño del biodigestor familiar (uso doméstico) se seleccionó el de mangas de polietileno tubular, principalmente por su costo y fácil mantenimiento, ya que va orientado a familias de bajos recursos económicos que se encuentren en zonas rurales de la provincia del Guayas.

De acuerdo al análisis realizado en el capítulo anterior, los parámetros de diseño para el biodigestor familiar propuesto se presentan en la Tabla 25:

Tabla 22. Resultados del Diseño del Biodigestor familiar

RESULTADOS DEL DISEÑO	
	Estiércol de vaca (26,25 kg)
Sustratos propuestos (cantidad mínima)	Estiércol de cerdo (5,6kg) Residuos vegetales (3 kg)
Cantidad de agua	105 l
Temperatura del proceso	35°C (rango mesofílico)
Rango de temperatura ambiente	20 - 38°C
Tiempo de retención	29 días
Producción estimada de biogás	1,18-1,48 m ³ /día
Volumen del biodigestor	5,5 m ³
Longitud del biodigestor	7,6 m
Diámetro del biodigestor	0,96 m

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la tabla anterior, se establece que:

- La carga diaria o el sustrato que se emplea es una mezcla de estiércol de animales y residuos vegetales, asumiendo las condiciones habitacionales de una familia que vive en la zona rural de la provincia del Guayas.
- La temperatura del proceso llega a 35°C debido al techado de plástico transparente (efecto invernadero producto de la energía solar térmica), y no se ve afectado por las pérdidas de calor a través del suelo, según datos del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) que para la ciudad de Guayaquil, a una profundidad de un metro, la temperatura promedio del suelo es de 28°C y en la superficie es de 30 a 32°C.

- El tiempo de retención se lo seleccionó con base en experiencias de otros autores, además de considerar el sustrato utilizado. Por ser el sustrato una mezcla de estiércol con material orgánico vegetal, y considerando la temperatura ambiente, se obtuvo un tiempo de retención de 29 días, lo cual es un lapso conservador a fin de que todos los procesos de degradación se lleven a cabo.
- La longitud calculada del biodigestor es 7,6 m y el diámetro es de 0,96 m, los cuales están en función del ancho del rollo de polietileno tubular disponible en el mercado, el cual es 1,50 m. Como se mencionó en la sección 2.4.2.2, la relación óptima longitud-diámetro está dada por el rango de 5 a 10. En este caso, este parámetro es de 7,92; lo cual es un promedio óptimo para un correcto funcionamiento.
- Para la estimación de la producción de biogás, se tiene información técnica con excremento animal, pero no existe esta información para estimarla con una mezcla de excremento y material orgánico vegetal, lo cual hace difícil estimar la cantidad real generada.
- Además, es importante analizar los materiales que se usan para la construcción del biodigestor familiar. Por ejemplo, la cámara del biodigestor es de polietileno tubular negro, debido a su excelente hermeticidad, además de su resistencia; bajo costo, además de ser reciclable después de la vida útil del biodigestor. Por otro lado, las tuberías y accesorios fueron seleccionadas de PVC, debido a su bajo costo, facilidad de instalación y la resistencia a la corrosión. Por último, los únicos elementos que son de acero son los que componen a las hornillas por su resistencia a altas temperaturas y resistencia a la llama.

3.2. Factibilidad técnica-económica del diseño

A continuación se detalla el análisis técnico-económico correspondiente de cada uno de los sistemas desarrollados en este proyecto (a nivel de laboratorio y biodigestor familiar). Se mostrará los respectivos parámetros técnicos influyentes y costos de cada uno de los componentes de los sistemas de producción de biogás desarrollados.

3.2.1 Análisis técnico del proyecto

Banco de pruebas para laboratorio

El método desarrollado es aplicable a sustratos de diferentes orígenes con una alta concentración de componentes orgánicos, que permitan la degradación anaeróbica. Los resultados de los ensayos simulados en un laboratorio, permiten determinar los tiempos de retención en términos de la producción de biogás de cada sustrato estudiado.

También, permite la detección de condiciones que causen inhibición en el proceso de degradación. Además, con este banco de pruebas se puede analizar condiciones que permitan mejorar el funcionamiento del proceso de fermentación mediante la adición de inóculos, permitiendo la caracterización de los sustratos estudiados a fin de obtener la información necesaria para la correcta utilización de la biomasa como fuente de energía renovable.

Biodigestor familiar

En términos generales, una familia tipo de 5 personas consume mensualmente 1 tanque de GLP de 15 kg. Dicho tanque cuesta actualmente 2 dólares (con subsidio del gobierno). Teniendo en consideración la vida útil del biodigestor como lapso para el cálculo, la cual es de 8 a 10 años, se toma 10 años como caso crítico. Al cabo 10 años, el valor por consumo de GLP en la familia es de 240 dólares, además no se han considerado las dificultades del transporte a estas zonas, lo que aumenta el precio del tanque.

Según datos del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables en su *“Programa de Eficiencia Energética para Cocción por Inducción y Calentamiento de Agua con Electricidad en sustitución del GLP en el sector residencial”* la energía consumida por mes en una cocina con un tanque de 15 kg de GLP es de 209 kWh/mes. El biogás teórico (60% CH₄ y 40% CO₂), tiene un contenido energético de 6,0 – 6,5 kW h/m³ (ver Tabla 2). La producción estima es de 1,18 a 1,48 m³/día. Se calculó la energía consumida por mes utilizando biogás teórico:

$$6,0 \frac{kWh}{m^3} * 1,18 \frac{m^3}{día} * \frac{30 días}{1 mes} = 212,4 \frac{kWh}{mes}$$

Con estos resultados se logra prescindir del GLP, ahorrando así al lapso de 10 años 240 dólares y evitando las dificultades de transporte.

En el Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV 2009-2013), en su objetivo 6.7 Cambio de la matriz energética dice: *“El programa de sustitución de cocinas a gas (GLP) por cocinas de inducción deberá ejecutarse tan pronto como exista la factibilidad de la generación eléctrica para este plan. Los ahorros energéticos vienen emparejados con la disminución de contaminantes y con la reducción en los impactos en el cambio climático.”* Con esto se propone reducir el subsidio

producido por la exportación de GLP. Por esto, a partir del 2017 el cilindro de gas costará de un 750% a 1000% su valor actual (entre 15 y 20 dólares), con esta consideración el ahorro llegaría a estar entre 1800 a 2400 dólares, o hasta dejar de depender del GLP.

Otra manera de aumentar el ingreso es vender el excedente del biol producido, el cual se puede vender al mismo precio del estiércol de vaca, que comúnmente es el más utilizado, para no existan problemas con el precio. El estiércol de vaca puede llegar a costar 1 dólar el kilogramo, teniendo como base esto, se puede vender el biol a un precio de 0,90 a 1 dólar, lo que significa un aumento en el total ya ahorrado.

3.2.2 Análisis económico del proyecto

Banco de pruebas para laboratorio

El diseño desarrollado para este proyecto posee materiales existentes en el mercado local y de fácil obtención, para lo cual se realizó la respectiva investigación de los costos de cada uno de los componentes, logrando obtener el costo total del diseño (ver Tabla 26).

Tabla 23. Costo de cada componente para la fabricación del banco de pruebas para laboratorio

#	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Reactor	Frasco boca ancha con esmerilado normalizado según norma DIN 12 039.	1	\$ 24,00	\$ 24,00
2	Tapón	Tapón de caucho con dimensiones según norma DIN 12 039 para sello de reactor.	1	\$10,50	\$10,50
3	Eudiómetro	Tubo Eudiómetro, incluye manguera de silicón y llave de PTFE. Tubo Interno: - Material Vidrio - Diámetro interno 4 mm - Diámetro externo 6 mm aprox. - Longitud interna 1 metro	1	\$180,00	\$180,00
4	Llave de paso	Tubo externo (camisa): - Longitud 1 metro aprox. - Diámetro de 30 a 35 mm Llave PTFE, aptas para el paso de gases y líquidos calientes.	1	\$38,35	\$38,35
5	Depósito de nivel	Frasco nivelador de plástico transparente con capacidad de 750 ml.	1	\$4,00	\$4,00

6	Soporte universal	Varilla en acero inoxidable AISI 304 de 12 mm diámetro x 700 mm largo Medidas del plato 315 x 200 mm, peso 3.6 Kg.	1	\$71,64	\$71,64
7	Tapón	Tapón de caucho con dimensiones según norma DIN 12 039 para sello de reactor.	1	\$10,50	\$10,50
8	Manguera de conexión	Manguera de caucho para laboratorio. -Diámetro interno 6 mm -Diámetro externo 8 mm -Longitud 1300mm	1	\$3,00	\$3,00
9	Acople de conexión	Toma para tanque de ¼"	1	\$5,00	\$5,00
10	Agitador Calentador	Multimatic 5-N Plataforma superior en acero inoxidable, volumen máximo de 600 mL (Diámetro máximo 90 mm). Temperatura Máxima 300°C Hasta 1600 rpm Dimensiones exteriores: 16 x 28 x 35 cm (alto/ancho/fondo). Incluye 5 imanes de 8 mm de diámetro x 32 mm largo.	1	\$2.715,55	\$2.715,55
				Subtotal	\$ 3060,54
				IVA 12%	\$367,26
				TOTAL	\$3427,80

Fuente: Elicrom Cia Ltda. (2015), Guayaquil-Ecuador

Para el fluido de confinamiento se debe recordar que se utilizan sustancias químicas y precursores para la producción de drogas, por lo cual se debe tener los permisos necesarios del CONSEP (Consejo Nacional de Control de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas) para su compra, a continuación se detalla los precios en el mercado local de cada una de estas sustancias (ver Tabla 27).

Tabla 24. Componentes químicos del líquido de confinamiento (precios incluyen IVA)

ÍTEM	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	l	Ácido sulfúrico	2,5	\$ 40,00	\$ 40,00
2	l	Agua destilada	1	\$ 2,00	\$ 2,00
3	gr	Metilo de naranja	10	\$ 0,10	\$ 1,00
4	gr	Sulfato de sodio decahidratado	200	\$ 0,12	\$ 24,00
TOTAL					\$ 67,00

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, para conocer la cantidad del biogás obtenido, se debe realiza el respectivo análisis en un cromatógrafo de gases. Este servicio puede ser realizado en el laboratorio de biomasa del INER ubicado en la ciudad de Quito. Su costo por muestra es de \$150,00 a \$200,00, incluyendo el transporte.

Biodigestor familiar

Los materiales para la construcción del biodigestor familiar son comúnmente encontrados en el medio, la mayoría se los puede adquirir en ferreterías y no son de alto costo, lo cual está acorde al objetivo del proyecto (bajo costo). En la Tabla 28 se detalla el presupuesto del sistema.

Tabla 28. Costo de cada componente para la fabricación del biodigestor familiar (precios incluyen IVA)

ÍTEM	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	m	Manga de polietileno tubular ancho de 1.50 m	18	\$ 1,50	\$ 27,00
2	m	Liga de neumático	60	\$ 0,25	\$ 15,00
3	u	Toma para tanque de ½"	2	\$ 2,50	\$ 5,00
4	u	Tubo de PVC de 6" de 1 m de largo	2	\$ 7,50	\$ 15,00
5	u	Sierra	1	\$ 7,90	\$ 7,90
6	u	Tarrajá ½"	1	\$ 7,10	\$ 7,10
7	u	Teflón	5	\$ 0,35	\$ 1,75
8	u	Tijeras	1	\$ 6,00	\$ 6,00
9	u	Selladora manual de plástico de 16"	1	\$ 40,00	\$ 40,00
10	u	Llave de tubo de 8"	1	\$ 6,60	\$ 6,60
11	m	Tubería de PVC de ½"	25	\$ 1,60	\$ 40,00

12	u	Codos de 90° PVC de ½"	4	\$ 0,63	\$ 2,52
13	u	Niples PVC de ½" (adaptadores)	4	\$ 0,35	\$ 1,40
14	u	Tee PVC de ½"	4	\$ 0,65	\$ 2,60
15	u	Llave de bola de ½" de PVC	4	\$ 1,65	\$ 6,60
16	u	Unión Universal de PP	6	\$ 1,10	\$ 6,60
17	u	Tubo de hierro de ½" con rosca de 12 cm	2	\$ 3,20	\$ 6,40
18	u	Tubo de hierro de ½" con rosca de 7 cm	2	\$ 8,70	\$ 17,40
19	u	Codo de hierro de ½" con rosca	2	\$ 0,29	\$ 0,58
20	u	Estropajo de Acero	2	\$ 0,50	\$ 1,00
21	u	Estacas de madera de 2 m	5	\$ 7,00	\$ 35,00
22	m	Malla para gallinero	20	\$ 1,75	\$ 35,00
23	m	Plástico transparente de ancho de 2,00	10	\$ 1,25	\$ 12,50
				TOTAL	\$ 298,95

Fuente: Elaboración propia.

Se debe recordar que las herramientas propuestas en el presupuesto anterior no son de un solo uso y se las puede volver a utilizar para realizar otro proyecto de producción de biogás biodigestor. Además, la instalación es fácil, no se requiere de mayor entrenamiento y es de poco mantenimiento.

3.3. Discusión

En las biomásas identificadas en la provincia del Guayas se tiene que el bagazo de la caña de azúcar y los restos de las cosechas de palma africana son comúnmente utilizadas para la generación de energía por medio de vapor (cogeneración). Por otro lado, los restos de banano se los utiliza para alimentar al ganado bobino; sólo los restos del arroz y del cacao no son utilizados, por tal motivo se espera que puedan ser aprovechados de mejor manera utilizándolos en proyectos como el propuesto en este trabajo.

Un tema para discutir es el control de las variables del proceso dentro del biodigestor, por ejemplo no se tiene certeza si se llega a inhibir el proceso debido a la presencia de antibióticos que el ganado consume con frecuencia o de químicos como fungicidas y sustancias tóxicas en las cosechas, que influyen directamente en la producción de biogás. Además, incluir las heces humanas en el biodigestor puede ser un problema en la producción del biol como producto secundario del proceso, el cual sirve como fertilizante, ya que se introducen las

coliformes (bacterias que se encuentran principalmente en el tracto intestinal de los mamíferos y las aves) presentes en las heces humanas (*E. coli*), generando un abono contaminado o no apto para ser depositado en la tierra. Además, todos estos factores de no ser tomados en cuenta podrían generar un producto con un pH inadecuado mayor a 7,5 (ácido) o menor a 6,5 (básico), lo que tendría un efecto perjudicial para el terreno donde se lo deposite.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El objetivo principal del proyecto es el determinar los procedimientos para poder caracterizar las diferentes biomásas identificadas en la provincia del Guayas, con la finalidad de determinar su potencial de generación de biogás. Para poder cumplir con este objetivo se consultaron varias normas internacionales como la directriz VDI 4630, DIN 38414-S8, DIN EN ISO 11734, DIN EN 12879 y DIN EN 12880, pudiendo observarse que los factores que determinan la caracterización de una muestra son: la consistencia (líquida, pastosa o sólida), la composición química (demanda química de oxígeno [DQO]), contenido de materia seca de sólidos totales [MS], el contenido de materia orgánica seca [MOS] y la calidad del biogás (contenido de metano). Dichos factores se pueden determinar con la ayuda del sistema de producción de biogás para pruebas de laboratorio presentado.
- Por otro lado, cabe recalcar que el diseño del banco de pruebas para laboratorio cumple con la norma DIN 38414-S8, siendo aplicable a inóculos y residuos con una alta concentración de componentes orgánicos, permitiendo el estudio de un proceso estándar de fermentación en un experimento de simulación. Para el diseño del respectivo protocolo de funcionamiento y presentación de resultados se tomó como referencia base la directriz VDI 4630, dicho protocolo indica el correcto procedimiento para obtener resultados eficientes en la capacidad de generación de biogás de la respectiva biomasa a estudiar.
- Otro objetivo de este proyecto es identificar las diferentes biomásas disponibles en la provincia del Guayas. En el proceso se encontró que la provincia del Guayas tiene gran producción de arroz, banano, caña de azúcar, cacao y palma africana, pudiendo aprovechar los residuos que ya no son útiles en la cadena alimenticia y no sirven para la fabricación de productos de mercado; además del estiércol procedente del ganado bobino y porcino que son los más comunes dentro de dicha provincia.
- Con respecto a los resultados obtenidos para el biodigestor familiar, se puede concluir que el principal factor limitante del diseño es el costo, debido a que será adquirido por una familia de bajos recursos en una zona rural de la provincia del Guayas. Otro factor limitante es la poca información disponible sobre la capacidad de generación de biogás de las biomásas identificadas y su

correspondiente producción de biogás. Esta situación se vuelve más compleja e indeterminada al utilizar dichas biomásas en las proporciones propuestas por las normas explicadas.

- Para la provincia del Guayas no existen problemas con la temperatura de trabajo en el rango mesofílico ($35 \pm 1^\circ\text{C}$), debido a que se sitúa en un ambiente tropical. Además, debemos considerar que las pérdidas de calor producidas por el contacto del biodigestor con el suelo son pequeñas, pero se debe colocar sobre el suelo un plástico a fin de evitar posibles filtraciones que se pueden presentar por lluvias, o daños en el sistema por perforaciones.
- Para los análisis de factibilidad económica: en el caso del banco de pruebas para laboratorio el costo aproximado es de \$4.000 (el precio incluye equipos, reactivos y prueba de cromatografía para una muestra). Para el biodigestor familiar el costo asciende a \$300, lo cual cumple con el objetivo planteado al inicio, aparte de ahorrar costos correspondientes a la compra de combustibles fósiles (GLP), lo cual incentiva la utilización de fuentes renovables de energía (biocombustibles).
- Uno de los objetivos principales del cambio de la matriz energética de nuestro país es el incremento de la participación de las energías renovables, tanto en la generación eléctrica como en la producción de biocombustibles. Con respecto a este último punto, uno de los objetivos de este proyecto es promover la utilización de biogás; brindando no solamente las bases teóricas para el análisis de los diferentes sustratos presentes en Ecuador y las diversas tecnologías de sistemas de producción de biogás, sino también incentivando la implementación de biodigestores familiares en las zonas rurales de la provincia del Guayas.

4.2. Recomendaciones

- Es recomendable que antes de aplicar los procedimientos para la caracterización de las biomásas, se analicen las metodologías y protocolos de funcionamiento indicados en este documento para su mayor entendimiento, a fin de utilizar óptimamente los sistemas de producción de biogás presentados.
- Para el banco de pruebas para laboratorio, se debe tener el respectivo cuidado con la manipulación de los componentes de vidrio que podrían generar cortes en la piel al quebrarse o generarse fisuras; además, se debe revisar continuamente la estanquidad del sistema, para evitar el ingreso del oxígeno al reactor. De igual manera, se debe tener cuidado con el líquido de confinamiento (que contiene ácido sulfúrico), ya que podría provocar irritaciones en la piel si se tiene contacto con éste, dicha esta situación se vuelve más crítica mientras

más tiempo se mantenga el contacto corporal. También, se debe evitar que el líquido de confinamiento se mezcle con la biomasa ubicada en el reactor, ya que podría ocasionar la inhibición o terminación del proceso de fermentación.

- Con respecto al biodigestor familiar, se estima una vida útil de 8 a 10 años, pero esto puede variar dependiendo del cuidado del usuario; por tal motivo, es recomendable realizar un cerramiento para protección de animales o personas que pueden provocar perforaciones a la superficie del biodigestor (polietileno). Una vez terminada la vida útil del biodigestor, se recomienda reutilizar los elementos que se encuentren en buen estado, tales como: las tuberías de entrada del sustrato y de salida del biol, las conexiones de tuberías de PVC y el polietileno tubular, ya que son materiales reciclables.

BIBLIOGRAFÍA

- Atlas Bioenergético del Ecuador (2014). *Ed 1*.
- Creus Antonio, (2014). *Energías Renovables. Ed 2*.
- Deublein D., Steinhauser A. 2008. *Biogas from waste and renewable resources: An Introduction*.
- Directriz VDI 4630, (2006). *Fermentación de materiales orgánicos y Caracterización del sustrato, muestreo, colección de datos, pruebas de fermentación de materiales*.
- Gülzow, (2010). *Guía sobre el Biogás de la producción hasta el uso (5ta ed.)*. Recuperado de <https://mediathek.fnr.de/broschuren/fremdsprachige-publikationen/espanol/guia-sobre-el-biogas.html>
- Lagrange, B. 1979. *Biomethane. Principes, Techniques, Utilisation. Vol.2. Edisual / Energies Alternatives*.
- Martí Jaime, (2008). *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*.
- Martí Jaime, (2014). *Eficiencias de biodigestores tipo tubular y domo fijo*. Recuperado de <http://tallerbiogas.blogspot.com/2014/12/eficiencias-de-biodigestores-tipo.html>
- Norma DIN 38414-S8, (1985). *De lodos y sedimentos (grupo S) - Determinación de la digestión anaerobia*.
- Norma DIN EN ISO 11734, (1998). *Determinación de la última biodegradabilidad anaeróbica de los compuestos orgánicos en los lodos digeridos. Método de medición de la producción de biogás*.
- Norma DIN EN 12879, (2001). *Caracterización de lodos. Determinación de la pérdida por ignición de masa seca*.
- Norma DIN EN 12880, (2001). *Caracterización de lodos. Determinación de residuos secos con contenido de agua*.
- Norma DIN 12039, (1976). *Recipientes de laboratorio - frascos de reactivos hombro cónicos de boca ancha y esmerilado estándar*.
- Norma DIN 12242-1, (1980). *Instrumentos de laboratorio; articulaciones intercambiables cónicos de tierra, dimensiones, tolerancias*.
- Norma DIN 12037, (1974). *Botellas Mariotte con esmerilado normalizado, sin válvula de drenaje*.
- SÁNCHEZ ZURITA, Carola. *Influencia de los cultivos iniciadores en un proceso estándar de fermentación para determinar el potencial de producción de biogás*. Offenburg, 2009, 90 h. *Tesis de maestría (Master of Science)*. Universidad de Offenburg. *Facultad de Ingeniería Mecánica y de Ingeniería de Procesos*.
- Speece, R. E. (1996). *Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters*. Nashville, Tenn: Archae Press.
- W. Bischofberger, N. Dichtl, K. Rosenwinkel, C. Seyfred, B. Böhnke, (2010). *Guía sobre el Biogás de la producción hasta el uso (5ta ed.)*. Recuperado de <https://mediathek.fnr.de/broschuren/fremdsprachige-publikationen/espanol/guia-sobre-el-biogas.html>

APÉNDICE A

FICHAS TÉCNICAS

FRASCO BOCA ANCHA, VIDRIO SCHOTT DURAN® DIN 12039



CARACTERÍSTICAS

Frascos, cuello ancho, SCHOTT DURAN®

DIN 12 039

Con esmerilado normalizado y tapón de vidrio

Con Retrace Code

Código	Color	Capacidad (mL)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Cuello (mm)	Cantidad
20972118517	Trasparente	50	44	79	24/20	10
20972118524	Trasparente	100	52	97	29/22	10
20972118536	Trasparente	250	70	132	34/35	10
20972118544	Trasparente	500	86	163	45/40	10
20972118554	Trasparente	1 000	107	201	60/46	10
20972118563	Trasparente	2 000	133	247	60/46	10
20972118573*	Trasparente	5 000	182	358	85/55	1
20972118586*	Trasparente	10 000	229	443	85/55	1
20972118591*	Trasparente	20 000	290	570	85/55	1
20972118817	Ámbar	50	44	79	24/20	10
20972118824	Ámbar	100	52	97	29/22	10
20972118836	Ámbar	250	70	132	34/35	10
20972118844	Ámbar	500	86	163	45/40	10
20972118854	Ambar	1 000	107	201	60/46	10
20972118863	Ámbar	2 000	133	247	60/46	10
20972118873*	Ámbar	5 000	182	358	85/55	1
20972118886*	Ámbar	10 000	229	443	85/55	1
20972118891*	Ámbar	20 000	290	570	85/55	1

*No según DIN

Fuente: I.C.T, S.L. Instrumentación científica técnica, recuperado de: <http://www.ictsal.net/>

ENVASE PET C/T REDONDO PESADO 750 ML R-53/400 CRISTAL 74 GR



› Características del Producto

Alto: 16.31 cm

Ancho: 8.79 cm

Diámetro rosca: 5.3 cm

Derrame: 800 ml

Capacidad Nominal: 750 ml

Peso: 74 gr

› Características del Empaque

Tipo de empaque: CAJA

Piezas por empaque: 102

Peso del empaque: 7.9 kg

› Medidas del Empaque

Alto: 61 cm

Largo: 61 cm

Ancho: 38 cm

Fuente: Multiplastic S.A. de C.V, (2015), recuperado de: <http://www.multiplastic.com.net>



Agitadores magnéticos múltiples “Multimatic”



CARACTERÍSTICAS COMUNES

Plataforma superior en acero inox. AISI 304 con grabado central en cada plaza que facilita la colocación del recipiente a agitar.
Regulación individual de la velocidad en cada plaza.

Panel frontal protegido contra salpicaduras.
Para 5 frascos de volumen máximo de 600 ml. (Ø máximo 90 mm).
Para 9 frascos de volumen máximo de 300 ml. (Ø máximo 75 mm).
Mueble exterior recubierto en epoxi.

APLICACIONES

Especialmente recomendado en trabajos para diagnósticos bio-farmacéuticos.



Agitadores “Multimatic” 5-S y 9-S sin calefacción

PARA 5 Y 9 PLAZAS.



PANEL DE MANDOS

Interruptor general con indicador luminoso.
Regulador de velocidad individual para cada plaza.

MODELOS

Código	Alto / Ancho / Fondo (exterior) cm	Ancho / Fondo (plaza) cm	Regulación velocidad r.p.m.	Volumen máximo agitación ml	Consumo total W	Peso Kg
MULTIMATIC 5-S 7000951	11 28 35	28 33	Hasta 1800	5 x 600	16	7
MULTIMATIC 9-S 7000952	11 28 35	28 33	Hasta 1800	9 x 300	27	9

Se suministran con 5 ó 9 ímanes según modelo revestidos de teflón de Ø 8 x 32 mm larga.

ACCESORIO

Cubeta en metacrilato transparente.
Para ser sumergidos en baño maría.
Adaptable a los agitadores “Multimatic” 5-S y 9-S sin calefacción.
Permite soportar temperaturas hasta 60 °C.
Para termostatar esta cubeta ver capítulo Termostatos de inmersión (págs. 118 a 129).

Código	Capacidad litros	Alto / Ancho / Fondo (exterior) cm	Peso Kg
1801087	14	16 29 35	4



Agitadores “Multimatic” 5-N y 9-N con calefacción

CON SISTEMA DE SEGURIDAD LIMITADOR DE TEMPERATURA INCORPORADO. PARA 5 Y 9 PLAZAS.



PANEL DE MANDOS

Interruptor general con indicador luminoso.
Regulador de velocidad individual para cada plaza.
Regulador electrónico de energía del calefactor entre 0 - 100% sincronizado con lámpara de señalización de funcionamiento del calefactor.

MODELOS

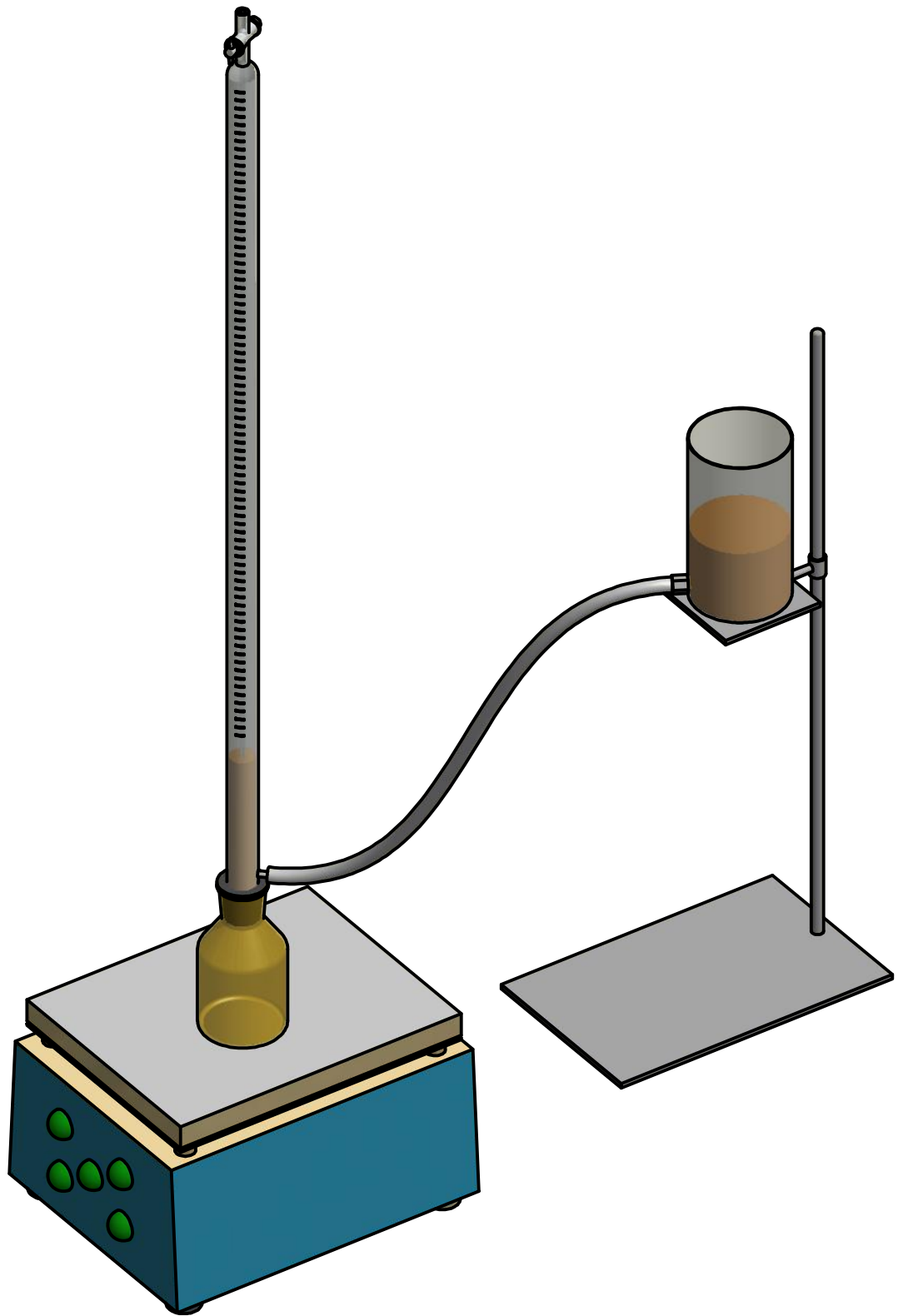
Código	Alto / Ancho / Fondo (exterior) cm	Ancho / Fondo (plaza) cm	Temperatura máxima °C	Regulación velocidad r.p.m.	Volumen máximo agitación ml	Potencia calefactor W	Consumo total W	Peso Kg
MULTIMATIC 5-N 7000953	16 28 35	25 25	380	Hasta 1800	5 x 600	918	1250	12
MULTIMATIC 9-N 7000954	16 28 35	25 25	380	Hasta 1800	9 x 300	927	1300	14

Se suministran con 5 ó 9 ímanes según modelo revestidos de teflón de Ø 8 x 32 mm larga.

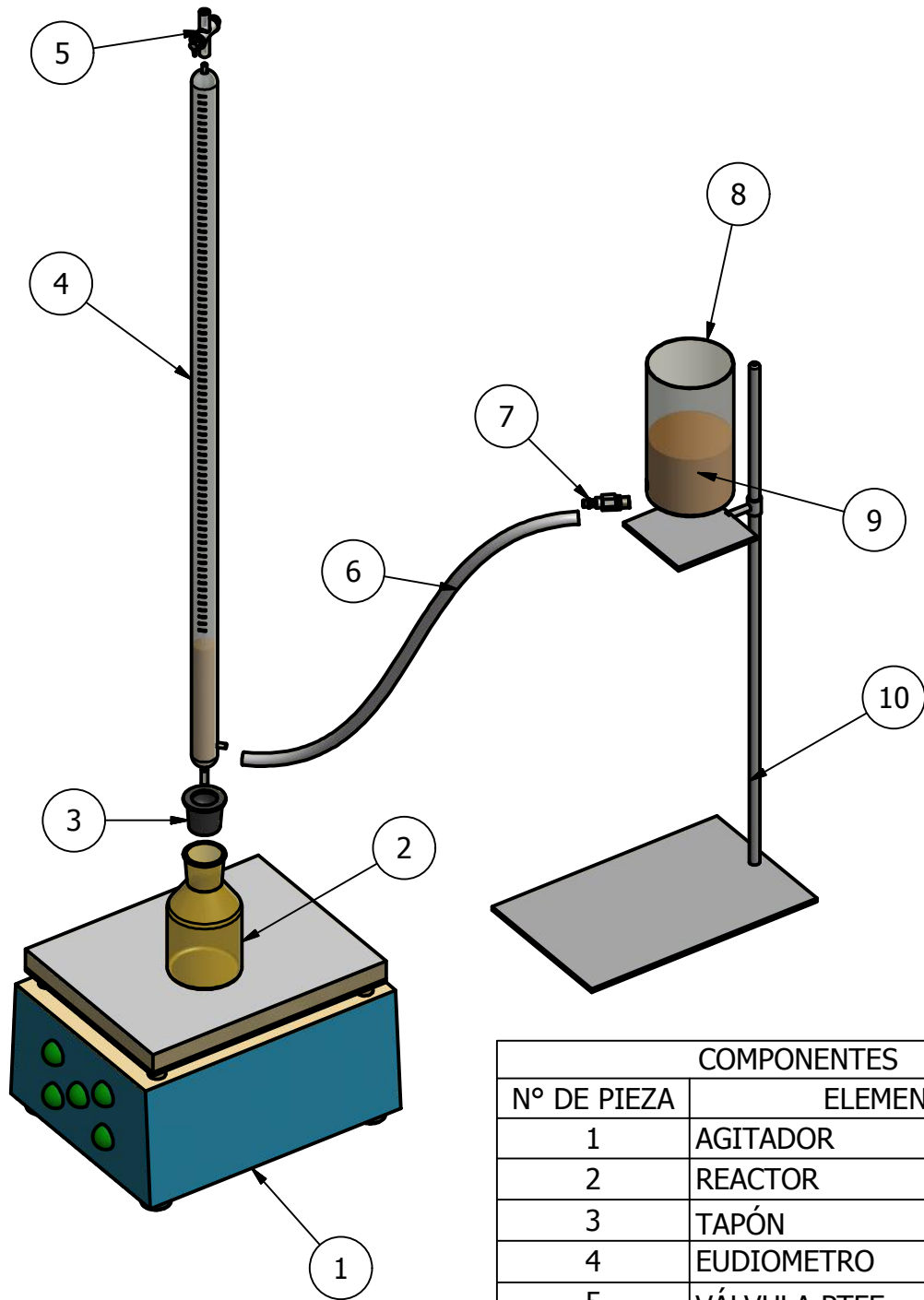
Fuente: Elicrom Cia Ltda. (2015), Guayaquil-Ecuador

APÉNDICE B

PLANOS ESQUEMÁTICOS

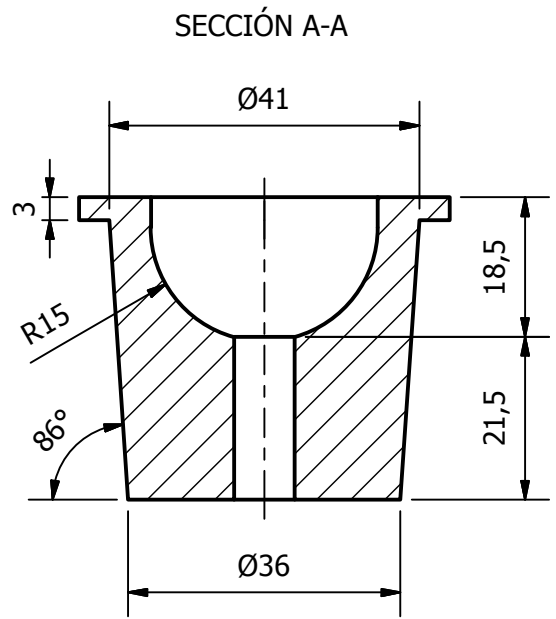
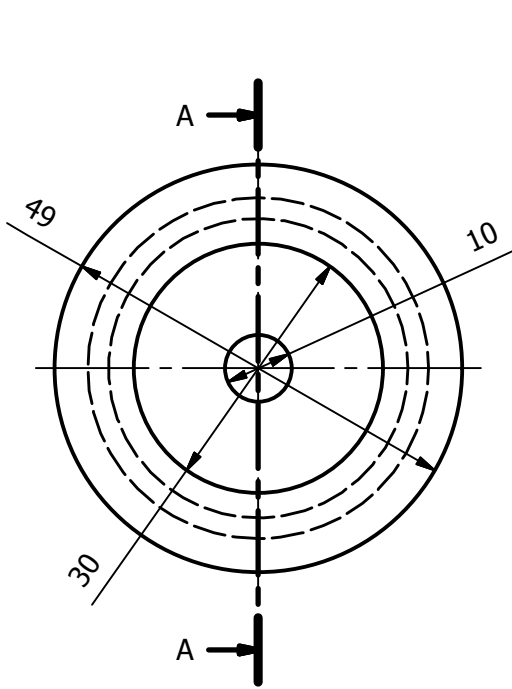


FIMCP - ESPOL		TÍTULO: VISTA ISOMÉTRICA	
TESIS DE GRADO: SISTEMAS PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS: BANCO DE PRUEBAS PARA LABORATORIO			
	Diseñado por: DAVID ECHEVERRÍA / JOSÉ SACA	PLANO No.: <div style="text-align: center; font-size: 2em;">1</div>	
	Revisado por: MSC. CAROLA SÁNCHEZ	Material: <div style="text-align: center;">VARIOS</div>	

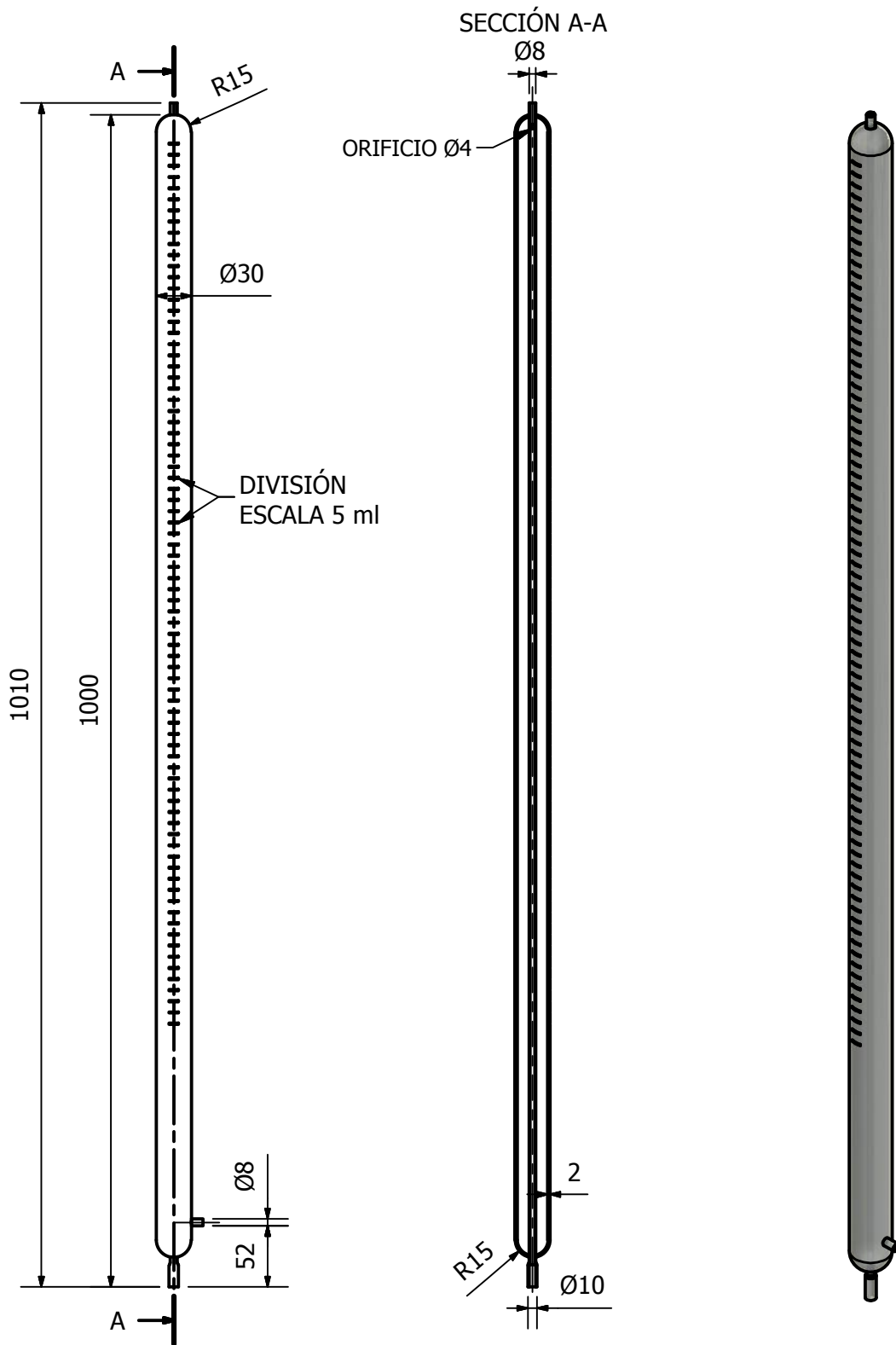


COMPONENTES	
Nº DE PIEZA	ELEMENTO
1	AGITADOR
2	REACTOR
3	TAPÓN
4	EUDIOMETRO
5	VÁLVULA PTFE
6	MANGUERA
7	ACOPLE
8	DEPÓSITO DE NIVEL
9	LÍQUIDO DE CONFINAMIENTO
10	SOPORTE UNIVERSAL

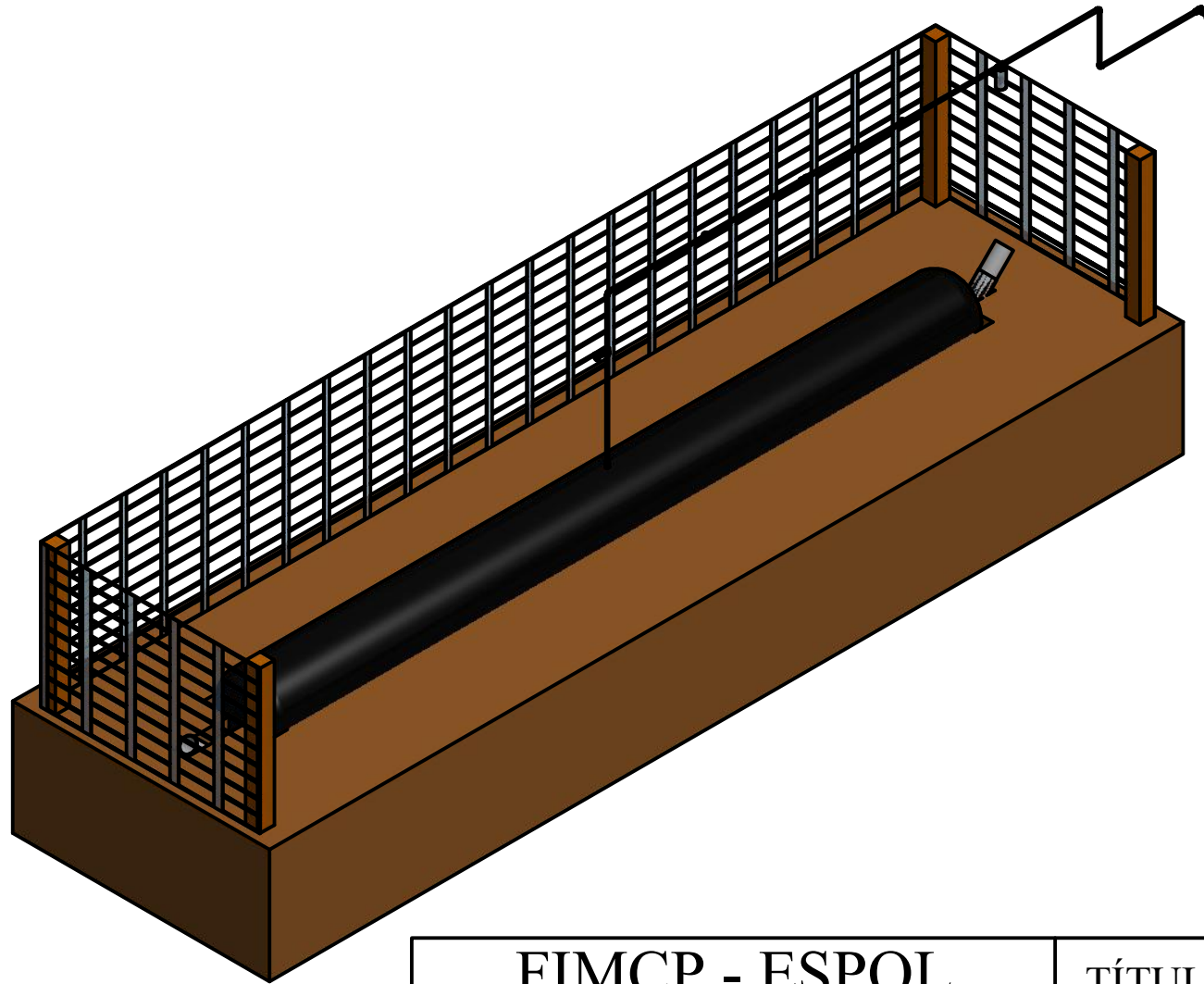
FIMCP - ESPOL		TÍTULO:	
TESIS DE GRADO: SISTEMAS PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS: BANCO DE PRUEBAS PARA LABORATORIO		DESPIECE	
	Diseñado por: DAVID ECHEVERRÍA / JOSÉ SACA	PLANO No.:	2
	Revisado por: MSC. CAROLA SÁNCHEZ	Material:	VARIOS



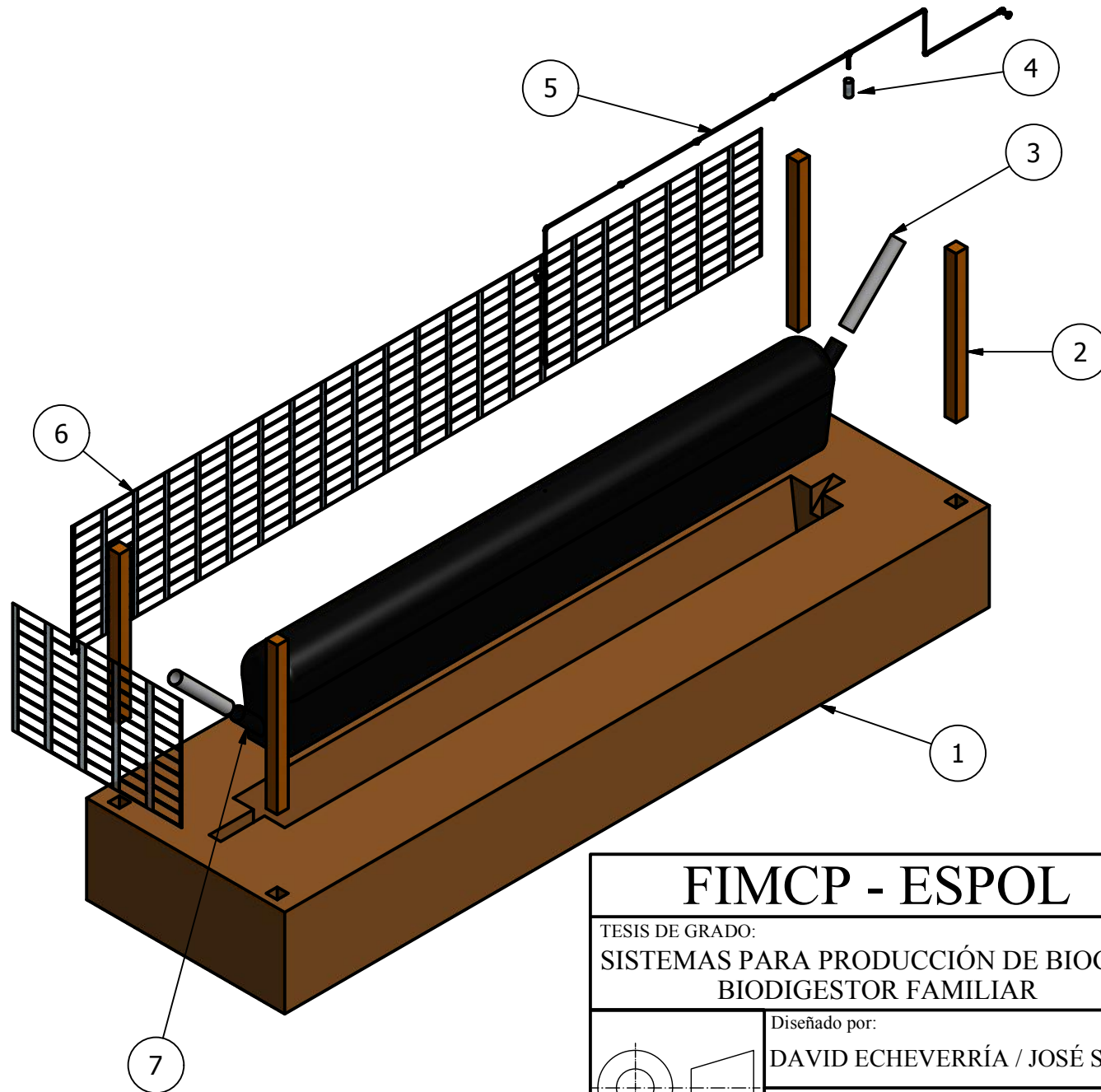
FIMCP - ESPOL		TÍTULO:	
TESIS DE GRADO: SISTEMAS PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS: BANCO DE PRUEBAS PARA LABORATORIO		TAPÓN	
	Diseñado por: DAVID ECHEVERRÍA / JOSÉ SACA	PLANO No.: <div style="text-align: center; font-size: 2em;">3</div>	
	Revisado por: MSC. CAROLA SÁNCHEZ	Material: CAUCHO	



FIMCP - ESPOL		TÍTULO:	
TESIS DE GRADO: SISTEMAS PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS: BANCO DE PRUEBAS PARA LABORATORIO		EUDIÓMETRO	
	Diseñado por: DAVID ECHEVERRÍA / JOSÉ SACA	PLANO No.: <div style="text-align: center; font-size: 2em;">4</div>	
	Revisado por: MSC. CAROLA SÁNCHEZ	Material: <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">VIDRIO</div>	

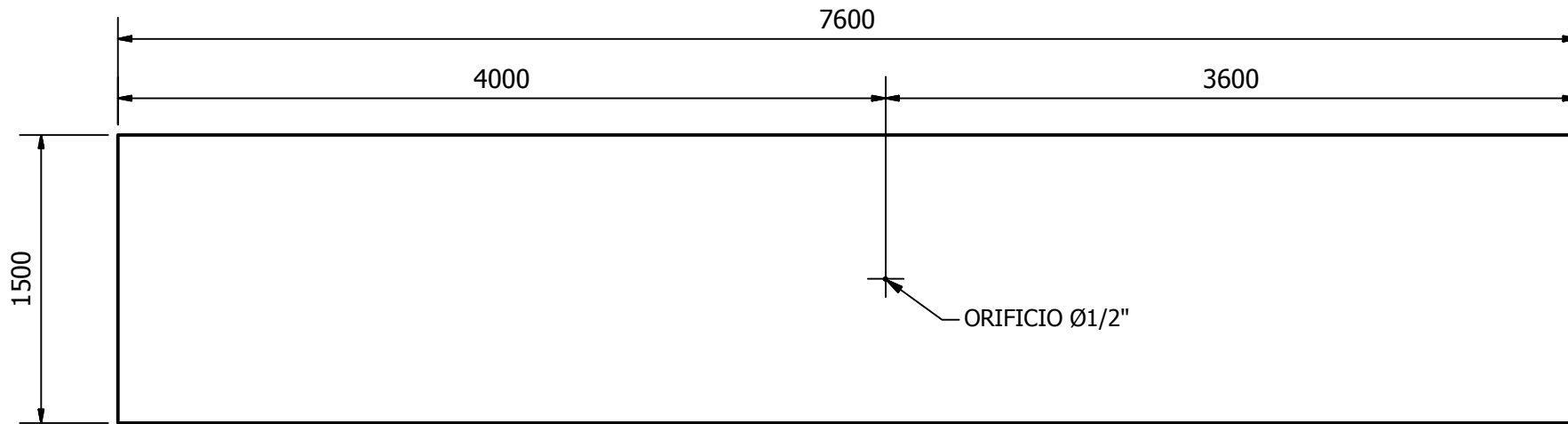


FIMCP - ESPOL		TÍTULO:	
TESIS DE GRADO: SISTEMAS PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS: BIODIGESTOR FAMILIAR		VISTA ISOMÉTRICA	
	Diseñado por: DAVID ECHEVERRÍA / JOSÉ SACA	PLANO No.: 5	
	Revisado por: MSC. CAROLA SÁNCHEZ	Material: VARIOS	

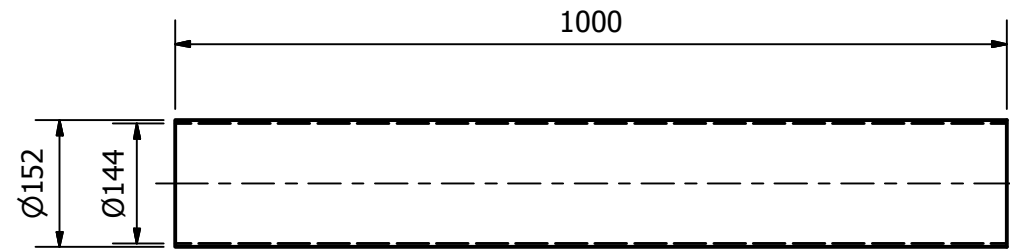


LISTA DE PIEZAS	
Nº DE PIEZA	ELEMENTO
1	ZANJA
2	ESTACA
3	TUBERIA Ø6"
4	VÁLVULA DE ALIVIO
5	TUBERIAS
6	CERRAMIENTO
7	MANGA DE POLIETILENO TUBULAR

FIMCP - ESPOL		TÍTULO:	
TESIS DE GRADO: SISTEMAS PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS: BIODIGESTOR FAMILIAR		DESPIECE	
	Diseñado por: DAVID ECHEVERRÍA / JOSÉ SACA	PLANO No.:	6
	Revisado por: MSC. CAROLA SÁNCHEZ	Material:	VARIOS



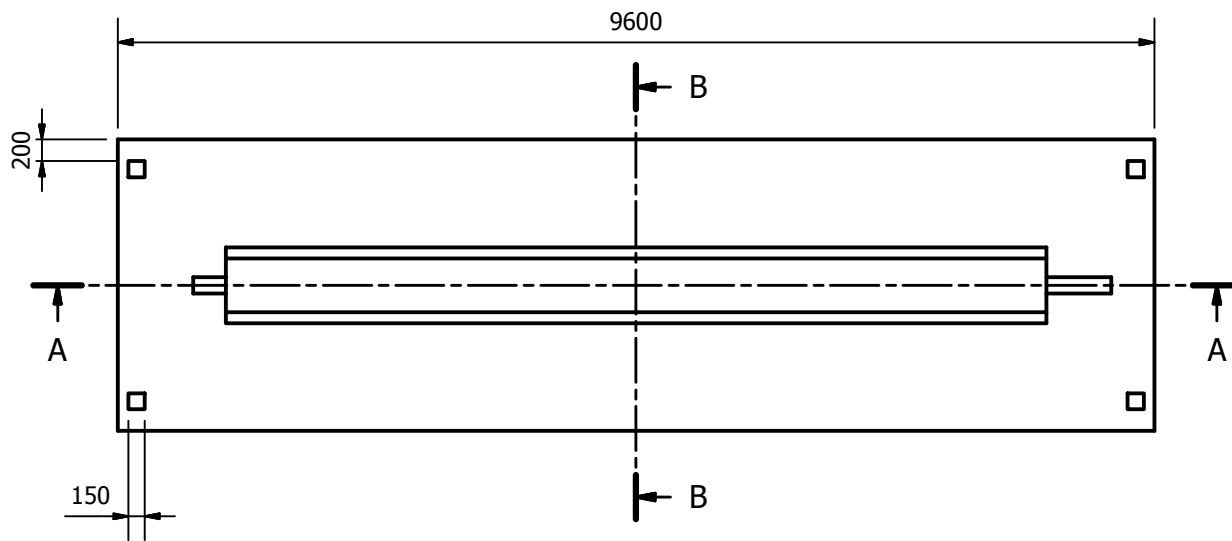
MANGA DE POLIETILENO TUBULAR



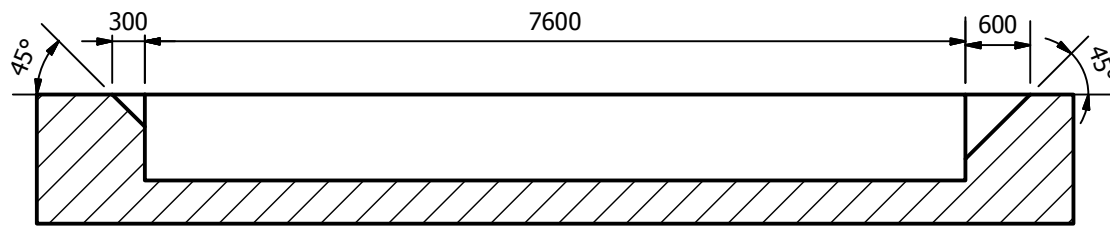
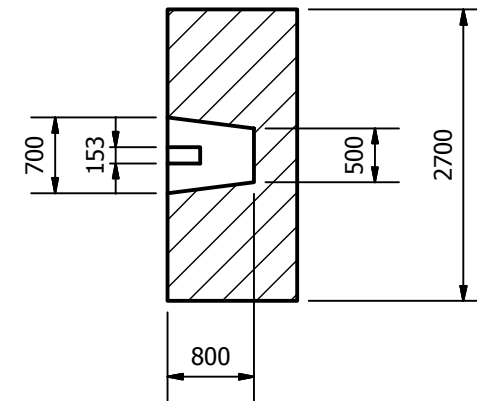
TUBO PVC 6"



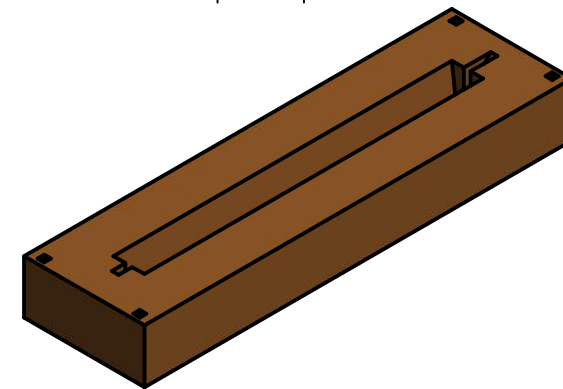
FIMCP - ESPOL		TÍTULO: PARTES DEL BIODIGESTOR	
TESIS DE GRADO: SISTEMAS PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS: BIODIGESTOR FAMILIAR		PLANO No.: 7	
	Diseñado por: DAVID ECHEVERRÍA / JOSÉ SACA	Material: POLIETILENO Y PVC	
	Revisado por: MSC. CAROLA SÁNCHEZ		



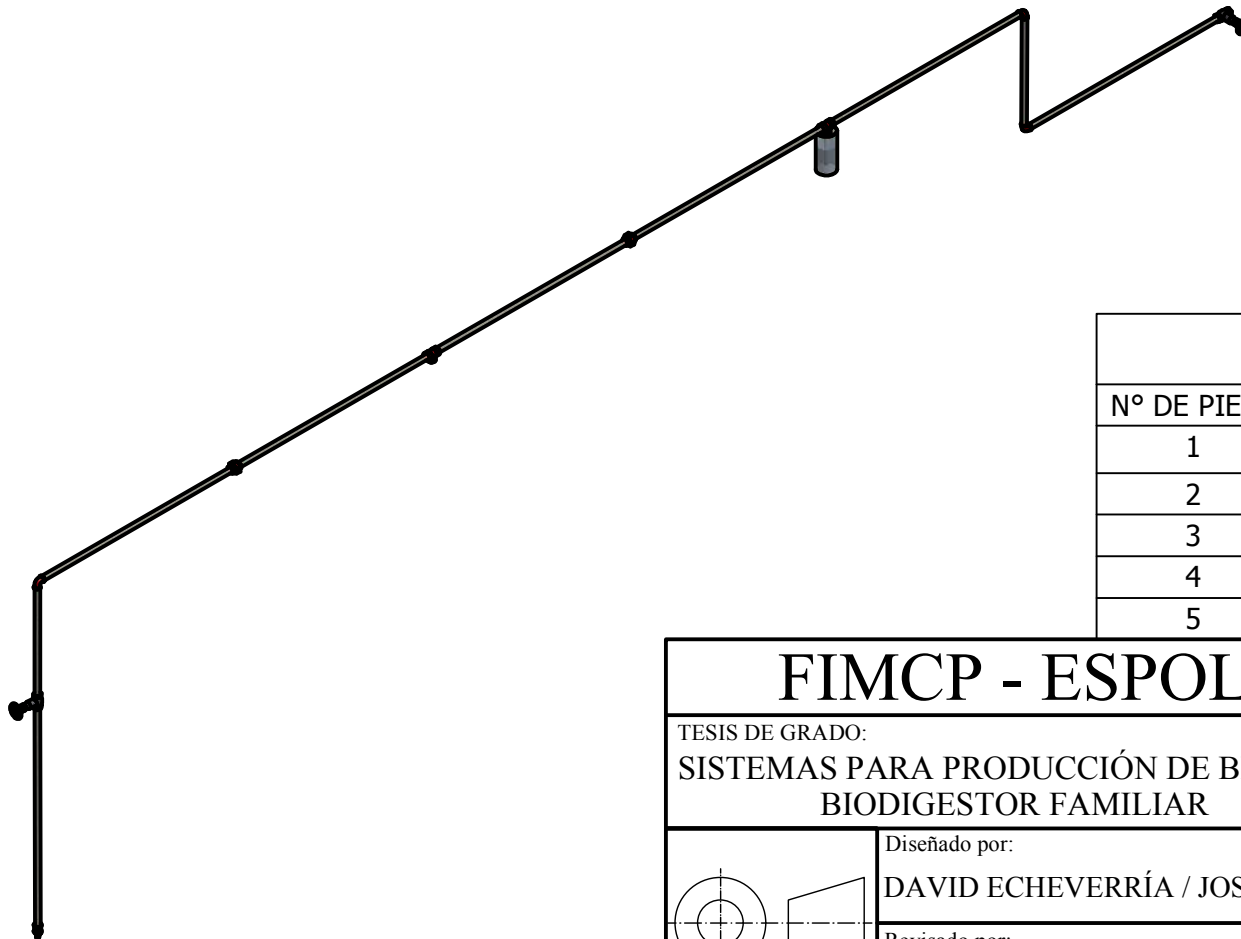
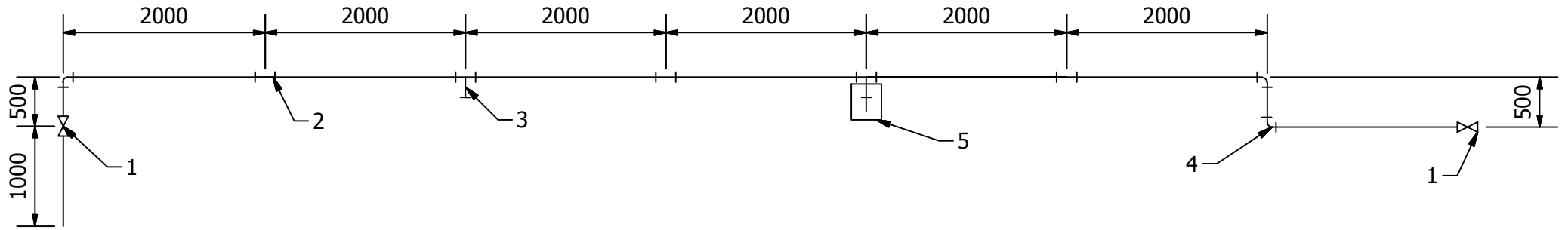
SECCIÓN B-B



SECCIÓN A-A



FIMCP - ESPOL		TÍTULO:	
TESIS DE GRADO: SISTEMAS PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS: BIODIGESTOR FAMILIAR		ZANJA	
	Diseñado por: DAVID ECHEVERRÍA / JOSÉ SACA	PLANO No.: 8	
	Revisado por: MSC. CAROLA SÁNCHEZ	Material: TIERRA	



LISTA DE PIEZAS		
Nº DE PIEZA	CANTIDAD	ELEMENTO
1	2	VÁLVULA DE BOLA 1/2"
2	3	UNIÓN UNIVERSAL DE PPT 1/2"
3	2	TEE PVC 1/2
4	3	CODO PVC 1/2"
5	1	VÁLVULA DE ALIVIO

FIMCP - ESPOL		TÍTULO:	
TESIS DE GRADO: SISTEMAS PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS: BIODIGESTOR FAMILIAR		TUBERIAS PARA TRANSPORTE DE BIOGÁS	
	Diseñado por: DAVID ECHEVERRÍA / JOSÉ SACA	PLANO No.:	9
	Revisado por: MSC. CAROLA SÁNCHEZ	Material:	PVC