

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS**

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA



**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
EN ELECTROMECAÁNICA**

TÍTULO:

**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL TRATAMIENTO DE LOS
RESIDUOS ALBAÑALES GENERADOS EN LA RESIDENCIA DE LA
UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO COMO UNA ALTERNATIVA
ENERGÉTICA PARA EL COCIDO DE ALIMENTOS**

AUTORES:

VÍCTOR DANIEL CÓRDOVA GALLARDO

FAUSTO RUBÉN TARCO MAIGUA

TUTORES:

Dr.C. LEONARDO AGUIAR TRUJILLO

MSC. LUIS MANUEL GARCÍA ROJAS

**LATA CUNGA - ECUADOR
2011**

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaramos que somos los autores del presente Trabajo de Diploma y que autorizamos a la Universidad de Pinar del Río, a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Víctor Daniel Córdova Gallardo
vdcordova_08@yahoo.es

Fausto Rubén Tarco Maigua
rubentarco@postgrado.upr.edu.cu

Víctor Daniel Córdova Gallardo y Fausto Rubén Tarco Maigua, autorizamos la divulgación del presente trabajo de diploma bajo licencia Creative Commons de tipo Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada, se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de la obra y no realice ninguna modificación de ella. La licencia completa puede consultarse en:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/legalcode>

Autorizamos al Departamento de Mecánica adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de materiales didácticos disponible en: "[<http://mecanica.upr.edu.cu/repositorio/>]"

Autorizamos al Departamento de Mecánica adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de tesinas disponible en: <http://revistas.mes.edu.cu>.



PÁGINA DE ACEPTACIÓN
Facultad de Geología - Mecánica
Departamento de Mecánica



Luego de estudiada la exposición de los diplomantes: Víctor Daniel Córdova Gallardo y Fausto Rubén Tarco Maigua, así como las opiniones del tutor y el oponente del presente trabajo de diploma, el tribunal emite la calificación de 5.

Presidente del Tribunal

Secretario

Vocal

Dado en la Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saiz Montes de Oca", a los 20 días del mes de Enero de 2011.

OPINIÓN DEL TUTOR



Universidad de Pinar del Río.
Facultad de Geología – Mecánica
Departamento de Mecánica



Pinar del Río, 20 de Enero de 2011

Algunas de Las consideraciones más importantes realizadas al trabajo de diploma “Diseño de un Biodigestor para el tratamiento de los residuos albañales generados en la Residencia de la Universidad de Pinar del Río como una alternativa energética para el cocido de alimentos” de los Autores: Víctor Daniel Córdova Gallardo y Fausto Rubén Tarco Maigua son:

- En el contexto actual de crisis energética se hace necesaria la búsqueda de alternativas que conduzcan a nuevas soluciones energéticas, más sostenibles y menos contaminantes.
- El cocido de los alimentos en la Universidad de Pinar del Río, es a partir del vapor generado en calderas consumidoras de combustibles.
- La generación de energía a partir de las excretas humanas generadas en la Residencia estudiantil de la Universidad de Pinar del Río, pudiera ser la solución en la búsqueda de un combustible renovable que sustituya al existente empleado en las calderas.

El Trabajo realizado permitió hacer una valoración de la efectividad técnica y económica de la construcción de una batería de biodigestores capaces de darle tratamiento a la excreta generada en la residencia estudiantil. En esta investigación:

- Los autores del trabajo demuestran una gran independencia, seriedad y motivación por el tema en que se investiga.
- Se desarrolló con la metodología establecida.
- Con un elevado o rigor científico.
- Se cumplen los objetivos propuestos, empleando una bibliografía actualizada.

De lo anteriormente expuesto consideramos que a los autores de trabajo se les debe dar la máxima calificación.

Tutores:



MSc. Luís Manuel García Rojas Dr. Leonardo Aguiar Trujillo.



Universidad de Pinar del Río
"Hermanos Saiz Montes de Oca"
Facultad Geología-Mecánica
Departamento Mecánica



Pinar del Río, 20 de enero de 2011.

Opinión del oponente:

El trabajo de diploma titulado "Diseño de un biodigestor para el tratamiento de los residuos albañales generados en la Residencia de la Universidad de Pinar del Río como una alternativa energética para el cocido de alimentos", de los autores Víctor Daniel Córdova Gallardo y Fausto Rubén Tarco Maigua y los tutores: DrC. Leonardo Aguiar Trujillo y MSc. Luís Manuel García, es de gran importancia debido a la actualidad del tema que se aborda, el cual se encuentra inmerso en el programa de la Revolución Energética que está llevando a cabo nuestro país, donde cada día se hace más necesario el ahorro de energía eléctrica.

Este trabajo propone el aprovechamiento de la materia orgánica (excretas humanas) producida en la residencia de nuestra universidad, a través de la producción de biogás para la cocción de alimentos, trayendo consigo la reducción de una de las fuentes de contaminación del medio ambiente, lo cual resulta beneficioso.

El trabajo consta de tres capítulos y cuenta con una buena estructuración y presentación, además cumple con las normas de redacción establecidas para el mismo.

Se le da cumplimiento al objetivo propuesto pues se logra diseñar el biodigestor necesario para el tratamiento de la excreta humana en la Residencia de la Universidad de Pinar del Río, capaz de lograr la disminución de consumo de combustibles fósiles, por el uso del gas generado para la cocción de alimentos.

Antes de concluir quisiera hacerle algunas preguntas a los diplomantes:

1. Al realizar los análisis a la materia prima que utilizan, ¿esta posee algunas peculiaridades a tener en cuenta para su tratamiento?
2. ¿Dónde ubican los biodigestores seleccionados y qué criterios toman en cuenta para realizar dicha ubicación?
3. Ustedes seleccionan un número de biodigestores que satisfacen un volumen de biomasa. ¿Estos garantizarían el correcto funcionamiento en un futuro?
4. ¿Qué criterios ustedes proponen que se le debe realizar al bioabono obtenido y cómo realizarlo?

Satisfecha con las respuestas a las preguntas realizadas y por todo lo antes expuesto se propone la máxima calificación.

MSc. Yanet Guerra Reyes



PENSAMIENTO

“Todo el estiércol humano y animal que el mundo pierde, devuelto a la tierra en lugar de ser votado al agua, sería suficiente para alimentar al mundo”

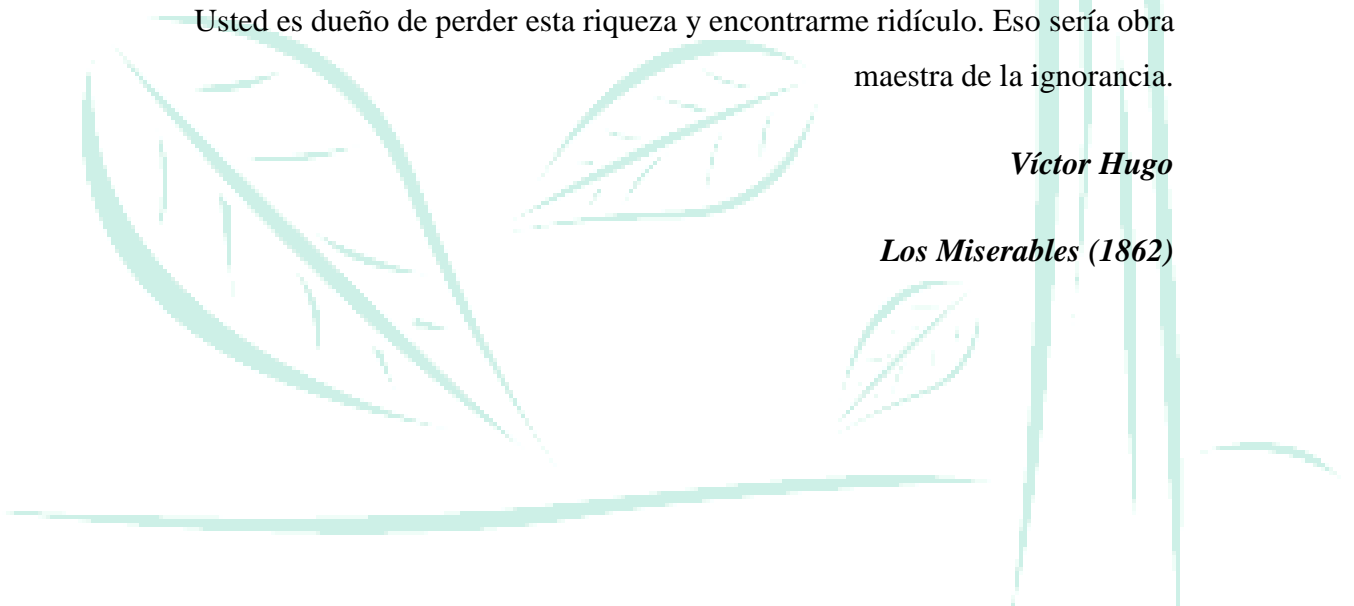
Esa fetidez sabe usted que es?

Es la pradera en flor, es hierba verde, es tomillo, es salvia, es el ganado, es el mujido satisfecho de grandes bueyes en la tarde, es el trigo dorado, es el heno perfumado, es el pan en su mesa, es sangre caliente en sus venas, es salud, es el gozo, es la vida. Así lo quiere esta creación mentirosa que es la transformación en la tierra y la transfiguración en el cielo, la nutrición de los campos hace el alimento para los hombres.

Usted es dueño de perder esta riqueza y encontrarme ridículo. Eso sería obra maestra de la ignorancia.

Víctor Hugo

Los Miserables (1862)



AGRADECIMIENTO

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos el grupo de trabajo. Por esto agradecemos a nuestros tutores Leonardo y Luis Manuel, con quienes en este tiempo hemos puesto a prueba nuestras capacidades y conocimientos en el desarrollo de este proyecto, el cual ha finalizado llenando todas nuestras expectativas. A nuestras Familias quienes a lo largo de toda nuestras vida han ayudado y motivado nuestra formación académica y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa Universidad de Pinar del Río la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, gracias al convenio con nuestra prestigiosa Universidad Técnica de Cotopaxi, quienes nos han preparado para un futuro competitivo y formado como persona de bien. A todos **GRACIAS**

Víctor Daniel



DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto de tesis: A Dios que me ha dado la vida y la fortaleza para terminar mi carrera universitaria, a mis padres Víctor y Enma por ser los pilares fundamentales de mi vida, en especial a mi madre por cuidarme y brindarme su amor, a mis hermanas Aracely, Cristina y Mishell por darme fortaleza en los momentos más difíciles, y a mi novia Tania por estar siempre conmigo apoyándome y brindándome su confianza y amor. Gracias a todos los amo mucho.

Víctor Daniel

DEDICATORIA

Me gustaría dedicar esta Tesis a toda mi familia.

Para mis padres Alejandro y Blanca, por su comprensión y ayuda en momentos malos y menos malos. Me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio.

Para mi mujer Patricia, a ella especialmente le dedico esta Tesis. Por su paciencia, por su comprensión, por su empeño, por su fuerza, por su amor, por ser tal y como es, porque la quiero. Es la persona que más directamente ha sufrido las consecuencias del trabajo realizado. Realmente ella me llena por dentro para conseguir un equilibrio que me permita dar el máximo de mí. Nunca le podré estar suficientemente agradecido.

Para mi hija, Doménica. Su nacimiento ha sido la pieza clave para la culminación de la Tesis. Ella es lo mejor que nunca me ha pasado, y ha venido a este mundo para darme el último empujón para terminar el trabajo. Es sin duda mi referencia para el presente y para el futuro.

A todos ellos, muchas gracias de todo corazón.

Rubén

RESUMEN

Actualmente, la sociedad se debe responder a dos preguntas acuciantes para los próximos años: Cómo alimentará a la población mundial y cuánto puede hacer para satisfacer las necesidades energéticas. Se calcula que el ritmo de la demanda energética crece al 1,5 % por año. Esto significa que para dentro de 20 años es decir, para 2030 se necesitará un 40 % más de energía que la que se utiliza en el presente. Se estima que en ese período duplicarán su necesidad de energía. Para satisfacer esta creciente demanda, el sistema de suministro de energía tiene que evolucionar hacia una situación más justa y sostenible.

La Residencia Estudiantil de la Universidad de Pinar del Río presenta un potencial de biomasa, como lo es la excreta humana, que puede ser aprovechado mediante las descomposiciones bioquímicas. A partir de una estimación del potencial de biomasa generada en el área, se selecciona el modelo de biodigestor a utilizar y a través del cálculo y dimensionamiento se logra el diseño de un biodigestor para la producción de biogás, a partir de la fermentación anaeróbica de la excreta humana producida en la Residencia de la Universidad de Pinar del Río, de tal forma que el biogás obtenido puede ser utilizado para la cocción de alimentos.

Como resultado del trabajo se obtuvo un potencial de excreta humana en la Residencia de la Universidad de Pinar del Río de $577,2 \left(\frac{kg}{día}\right)$, diseñando una batería de biodigestores modelos Hindú con una capacidad de producción de biogás de $2308,8 \left(\frac{kg}{día}\right)$, de esta manera lográndose estimar una producción de biogás de $40 m^3$.

SUMMARY

At the moment, society should respond to two pressing questions for the next years: how it will feed the world population and how much it can be done to satisfy its energy necessities. It is calculated that the energy demand grows about 1,5 % per year. This means that in 20 years, that is, in 2030, the energy needed will be 40 % more than the one that is used presently. It is considered that, in this period, society will duplicate its energy necessity. To satisfy this growing demand, energy supply systems have to evolve towards a fairer and more sustainable situation.

The Student Residence of the University of Pinar del Río presents a biomass potential of human excretions that can be profited by means of the biochemical decompositions. Starting from an estimate of the biomass potential generated in the area, the biodigestor model to be used is selected and through calculations and dimensioning, the design of a biodigestoris achieved for biogas production, throughanaerobic fermentation of human excretions produced at the Student Residence of the University of Pinar del Río. The obtained biogas can be used for food cooking.

As a result of the work, a potential of human excretions at the Student Residence of the University of Pinar del Río was obtained of 577,2 kg/day, and a biodigestor battery of the Hindú model was designed with a production capacity of 2308,8 kg/day, achievingan estimate of biogas production of 40 m^3

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
INTRODUCCIÓN.....	14
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1. CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	19
1.1. FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE.....	19
1.2. BIOMASA.....	20
1.2.1. Composición Química y Física.....	21
1.2.2. Clasificación de la Biomasa.....	21
1.2.3. Procesos de Conversión de Biomasa.....	22
1.2.4. Biomasa como fuente de Energía.....	23
1.2.4.1. Ventajas:.....	23
1.2.4.2. Desventajas:.....	23
1.3. EL BIOGÁS.....	23
1.3.1. ¿Qué es el Biogás?.....	23
1.3.2. Composición química del biogás.....	24
1.3.3. Beneficios del Biogás.....	25
1.3.4. Aplicaciones del Biogás.....	26
1.4. EL BIODIGESTOR.....	28
1.4.1. ¿Qué es un biodigestor?.....	28
1.4.2. Digestión Anaeróbica.....	29
1.4.2.1. Condiciones para la digestión anaeróbica.....	31
1.4.2.2. Procesos de digestión para tratar los residuos orgánicos.....	32
1.4.3. Tipos de Biodigestores.....	34
1.4.3.1. Biodigestores de Flujo Discontinuo.....	34
1.4.3.2. Biodigestores de Flujo Continuo.....	35
1.5. ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS ALBAÑALES O RESIDUALES.....	38
1.5.1. La contaminación en el agua.....	39
1.5.2. Tratamientos convencionales.....	39

2.	CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
2.1.	PRELIMINARES PARA EL DISEÑO DEL BIODIGESTOR	42
2.2.	PRODUCCIÓN DE EXCRETA HUMANA POR DÍA	45
2.2.1.	Producción de excreta humana por edificios	46
2.2.2.	Producción total de excreta humana.....	46
2.2.3.	Potencial de Biomasa	47
2.3.	SELECCIÓN DEL TIPO DE BIODIGESTOR A UTILIZAR.....	48
2.3.1.	Metodología para el diseño de un biodigestor tipo Hindú	50
2.4.	DISEÑO DEL BIODIGESTOR.....	51
2.4.1.	Ubicación del biodigestor	51
2.4.2.	Excavación	54
2.5.	DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR	55
3.	CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	63
3.1.	PRODUCCIÓN DE EXCRETA HUMANA POR DÍA	63
3.2.	POTENCIAL DE BIOMASA.....	67
3.3.	DISEÑO DEL BIODIGESTOR	68
3.3.1.	Dimensionamiento del Biodigestor.....	68
	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	82
	IMPACTO AMBIENTAL.....	85
	CONCLUSIONES.....	86
	RECOMENDACIONES.....	87
	BIBLIOGRAFÍA.....	88



INTRODUCCIÓN

El uso de lo que hoy en día son fuentes de energía renovables, no es algo nuevo, de hecho estas fueron las primeras fuentes de energía utilizadas por el hombre, la radiación solar, el viento, el agua, así como la madera (Biomasa) como combustible, fueron las primeras fuentes de energía utilizadas en el mundo. La leña fue el principal combustible para la cocción de los alimentos, esta fuente de energía fue poco a poco sustituida por fuentes más convenientes desde el punto de vista de la calidad y cantidad como el diesel, y al momento por el biogás, de manera que en la actualidad se cuenta con las tecnologías relacionadas con las Fuentes Renovables de Energía que son un conjunto de tecnologías probadas y técnicamente viables para reemplazar al petróleo, pero aun con una notable desventaja económica.[1]

Se conoce que casi tres mil millones de personas en el mundo emplean todavía la leña como fuente de energía para calentar agua y cocinar, lo que provoca, junto a otros efectos, que anualmente se pierdan en el mundo entre 16 y 20 millones de hectáreas de bosques tropicales y zonas arboladas. En respuesta a esta situación surgen varias alternativas para llevar a cabo la cocción de alimentos, que tienen bajo impacto ambiental y su fuente de energía es considerada renovable, una de ellas resulta la producción de biogás a partir de la fermentación de la materia orgánica. [2]. La Biomasa es un recurso renovable cuya utilización presenta características singulares y beneficios notables. Se trata de una fuente prácticamente inagotable, producida cíclica y continuamente por los reinos vegetal y animal y los sistemas urbano e industrial, y existe por lo menos en alguna de sus formas en todos los espacios geográficos. El uso de la biomasa aporta beneficios que son no sólo energéticos, sino que su transformación se convierte en beneficiosa y necesaria para el entorno. Es un sistema idóneo de eliminación de residuos, con la subsiguiente mejora del ambiente social, urbano e industrial. En el sector agropecuario también es beneficiado gracias al biofertilizante generado por esta tecnología permite responder a una demanda de la sociedad, de esta forma se es más respetuoso del medio ambiente, y en particular se promueve la reducción de posibles fuentes de contaminación. [3]

Según la literatura, fue en la India donde se construyó la primera instalación para producir biogás, en fecha cercana al año 1900, a partir de ese momento se ha incrementado el número de biodigestores, y actualmente funcionan en ese país alrededor de doscientas mil unidades. China es hoy la región que tiene un mayor número de este tipo de instalaciones, aproximadamente 6,7 millones. [2]

Cuba en 1984 promueve la creación de diferentes grupos de desarrollo, en los Organismos de la Administración Central del Estado (OACE), y en casi todas las provincias, dedicados a la generalización del uso de diferentes fuentes renovables de energía, principalmente la hidráulica, el biogás, la biomasa, la solar térmica y la eólica. Entre estos grupos se destacaron los de los ministerios de las Fuerzas Armadas Revolucionarias, del Azúcar, de la Agricultura, del Transporte, del Interior y de la Industria Alimenticia, así como los de las provincias de Pinar del Río, Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo, subordinados a las respectivas direcciones provinciales del Poder Popular. Teniendo como base las experiencias acumuladas por la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Oriente se crea, en 1996, el Centro de Estudios de Eficiencia Energética (CEEFE). Este Centro ha tenido resultados en el desarrollo de tecnologías para la combustión de la biomasa, principalmente el bagazo, así como en el uso del biogás en motores de combustión interna. [4]

Cuba emplea unas 700 plantas de biogás como fuente de energía consustancial con el modelo energético “eficiente, descentralizado, sostenible y solidario” que se desarrolla en la isla. El biogás se aprovecha en la isla en la cocción de alimentos y para generar electricidad a partir de residuos de la industria azucarera y del café, y también de la descomposición de la materia orgánica. El potencial cubano de este recurso supera los 400 millones de metros cúbicos anuales. Según estudios, se podría instalar una potencia de generación eléctrica de 85 MW y producir más de 700 GW por hora al año. Las regiones con mayor potencial son Ciudad de La Habana, las provincias de La Habana y Pinar del Río, todas ubicadas en el occidente cubano. La primera aplicación industrial del biogás en Cuba data de 1940, y su uso creció a partir de 1980 con la puesta en funcionamiento de biodigestores de las tecnologías de campana flotante y de cúpula fija. [5]



La Oficina Nacional de Estadística reporta que hay 70 minidigestores instalados en Cuba hasta el 2001, con un crecimiento de 16 % con respecto al 2000; Pinar del Río, con 17, es la provincia donde hay más instalados. El país tiene un potencial en este renglón de 152 mil toneladas de combustible convencional por año, el cual proviene de unos 78 millones de metros cúbicos al año de vertimientos de desperdicios orgánicos. Estos datos evidencian que el trabajo realizado para desarrollar la producción de biogás ha sido sólo incipiente y que se deben tomar medidas encaminadas a lograr instalaciones en los lugares donde se necesite, además de hacerlo de forma eficiente, participativa y sustentable. [2]

En la Residencia de la Universidad de Pinar del Río, existe materia orgánica (excreta humana), la cual no es aprovechada para la generación de energía, por esto es necesario desarrollar métodos más eficientes y de bajo costo para el reciclaje y tratamiento de ésta materia orgánica producida en la Residencia Universitaria, de tal forma que se pueda diseñar un biodigestor para la producción de biogás que se utilizará en la cocción de los alimentos, y de esta manera se pueda disminuir el consumo de combustibles fósiles para esta actividad.

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Problema:

Necesidad de buscar una alternativa energética para el uso de los residuos de excreta humana generados en la Residencia de la Universidad de Pinar del Río.

Hipótesis:

Si se realiza un análisis de la cantidad de excreta humana que se genera diariamente en la Residencia de la Universidad de Pinar del Río, de la metodología de cálculo y diseño de los diferentes biodigestores existentes, de la cantidad de energía necesaria para el cocido de los alimentos en el comedor universitario, entonces se podrá diseñar un biodigestor en la residencia universitaria que logre la disminución de consumo de combustibles fósiles, por el uso del gas generado para la cocción de alimentos.

Objeto:

Tratamiento de residuos y generación de biogás a partir de la excreta humana en la Residencia de la Universidad de Pinar del Río.

Objetivo General:

Diseñar un biodigestor para el tratamiento de la excreta humana en la Residencia de la Universidad de Pinar del Río, capaz de lograr la disminución de consumo de combustibles fósiles, por el uso del gas generado para la cocción de alimentos.

Objetivos Específicos:

- ✓ Caracterizar la biomasa utilizada (excreta humana) y posibles tratamientos que se le realizan para su aprovechamiento a través de la bioconversión.
- ✓ Estimar las cantidades de excreta humana que se generan diariamente en la residencia de la Universidad de Pinar del Río.



- ✓ Seleccionar el tipo de biodigestor para de tratamiento de residuos orgánicos.

Resultados:

- ✓ Se ofrece una estimación de las cantidades de excreta humana que se generan diariamente en la Residencia de la Universidad de Pinar del Río.
- ✓ Diseño del biodigestor para el tratamiento de los residuos antes mencionados.



1. CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Fuentes de Energía Renovable

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

Con el nombre de energías renovables o alternativas se conocen una serie de fuentes energéticas diversas tales como el aprovechamiento directo de la radiación solar, el viento, biomasa etc., que tienen unas características comunes:

- ✓ Son recursos que se encuentran muy bien distribuidos por todo el planeta, lo que garantiza el suministro autóctono.
- ✓ Las tecnologías de conversión son generalmente modulares y con cortos periodos de construcción, lo que permite un modelo de suministro energético basado en la demanda.
- ✓ Los procesos tecnológicos asociados a su aprovechamiento son relativamente sencillos, lo que proporciona su accesibilidad.
- ✓ Tiene un reducido impacto ambiental.
- ✓ Generalmente requieren grandes inversiones iniciales pero tienen bajo coste de operación. Esto es un inconveniente para su uso generalizado, pero tiene la ventaja de eliminar las incertidumbres sobre la viabilidad de los precios energéticos.

Son por tanto un elemento clave para evitar tres de los grandes problemas del actual sistema energético:

- ✓ Contaminación ambiental.
- ✓ Agotamiento de recursos.
- ✓ Modelos de desarrollo muy centralizado.

Especialmente las tres primeras características las convierte además en una posibilidad importante para el desarrollo regional y generación de empleo, incluso en países y regiones sin gran nivel tecnológico. [6]

Se deben esperar tecnologías de servicios caracterizadas por largos tiempos de vida, altas eficiencias y con altos costos de inversión inicial. El mundo evolucionara hacia una sociedad conservadora (en el sentido ambiental) basada en productos de larga duración y de alta calidad. Esta última fase, que ya ha empezado, es felizmente coherente con la demanda creciente de la población por un ambiente más limpio. Las proyecciones muestran que el gas natural llegará a representar una cuarta parte del suministro energético mundial en 2030, como consecuencia de un incremento debido principalmente, a la generación de electricidad. Se espera que el gas natural se convierta en la segunda fuente de energía después del petróleo. La demanda de gas natural también aumentará en las regiones del mundo, algunas de ellas cuentan con reservas limitadas o decrecientes de gas y se convertirán en importadores netos, provocando con ello importantes cambios en los modelos del comercio mundial del gas. [7]

1.2.Biomasa

Biomasa es la masa biológica, cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre, o por organismos de un tipo específico. El término es utilizado con mayor frecuencia en las discusiones relativas a la energía de biomasa, es decir, al combustible energético que se obtiene directa o indirectamente de recursos biológicos. La energía de biomasa que procede de la madera, residuos agrícolas y estiércol, continúa siendo la fuente principal de energía de las zonas en desarrollo. [8]

La biomasa podría proporcionar energías sustitutivas a los combustibles fósiles, gracias a biocombustibles líquidos (como el biodiesel o el bioetanol), gaseosos (gas metano) o sólidos (leña), pero todo depende de que no se emplee más biomasa que la producción neta del ecosistema explotado, de que no se incurra en otros consumos de combustibles en los procesos de transformación, y de que la

utilidad energética sea la más oportuna frente a otros usos posibles como abono y alimento. El uso apropiado de la biomasa ofrece una alternativa para reducir los costos de operación por concepto de insumos energéticos; además, es una solución para los problemas higiénico - ambientales que, en muchos casos, presentan los desechos orgánicos. [9]

1.2.1. Composición Química y Física

Las características químicas y físicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar, por ejemplo, los desechos animales producen altas cantidades de metano, mientras que la madera pueden producir el denominado “gas pobre”, que es una mezcla rica en monóxido de carbono (CO). Por otro lado, las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar. [10]

1.2.2. Clasificación de la Biomasa

La biomasa, como recurso energético, puede clasificarse en biomasa natural, residual y los cultivos energéticos.

✓ La biomasa o natural.

Es la que se produce en la naturaleza sin intervención humana. Por ejemplo, las podas naturales de los bosques, es decir es la materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen.

✓ La biomasa o residual.

Es el subproducto o residuo generado en las actividades agrícolas (poda, rastrojos, etc.), silvícolas y ganaderas, así como residuos de la industria agroalimentaria (alpechines, bagazos, cáscaras, vinazas, etc.) y en la industria de transformación de la madera (aserraderos, fábricas de papel, muebles, etc.), así como residuos de depuradoras y el reciclado de aceites. Se refiere a la biomasa “útil” en términos energéticos: Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esa energía química queda almacenada en forma de materia orgánica; la energía química de la biomasa puede recuperarse quemándola directamente o transformándola en combustible.

Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

✓ **Los cultivos energéticos.**

Son aquellos que están destinados a la producción de biocombustibles. Además de los cultivos existentes para la industria alimentaria (cereales y remolacha para producción de bioetanol y oleaginosas para producción de biodiesel).

1.2.3. Procesos de Conversión de Biomasa

En la Tabla 1 se muestra una distribución de los procesos de conversión aplicables, de acuerdo con las características y el tipo de biomasa, así como los posibles usos finales de la energía convertida.

Tabla 1: Procesos de conversión de biomasa en energía

Tipo de biomasa	Características físicas	Procesos de conversión	Producto final	Usos
Materiales orgánicos de alto contenido de humedad.	Estiércoles. Residuos de alimentos. Efluentes industriales. Residuos urbanos.	Digestión anaeróbica y fermentación alcohólica.	Biogás. Metanol. Etanol. Biodiesel.	Motores de combustión. Turbinas de gas. Hornos y calderas. Estufas domesticas.
Materiales lignocelulosicos (cultivos energéticos, residuos forestales de cosechas y urbanos).	Polvo Astillas Pellets Briquetas Leños Carbón vegetal	Densificación Combustión directa Pirolisis Gasificación	Calor, Gas pobre Hidrógeno Biodiesel	Estufas domesticas Hornos y calderas Motores de combustión Turbinas de gas

Fuente: Manuales sobre energía renovable: Biomasa/ Biomass Users Network (BUN-CA).1 ed. San José, C.R.BiomassUsersNetwork (BUN-CA), 2002 [11]

1.2.4. Biomasa como fuente de Energía

El aprovechamiento energético de la biomasa presenta las siguientes ventajas:

1.2.4.1. Ventajas:

- ✓ Es una fuente renovable de energía.
- ✓ Puede ser transformada en combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.
- ✓ Muchas de las tecnologías de transformación están ya establecidas.
- ✓ Tecnologías de conversión disponibles en un amplio rango de potencias y a diferentes niveles de desarrollo.
- ✓ No produce el incremento de dióxido de carbono en la atmósfera.
- ✓ Almacena su propia energía.
- ✓ Genera más fuerza laboral que otros tipos de actividades energéticas de capacidades similares.

1.2.4.2. Desventajas:

El aprovechamiento energético de la Biomasa presenta en ciertos escenarios algunas características negativas que se presentan a continuación:

- ✓ La Biomasa terrestre presenta fundamentalmente alto grado de dispersión, con lo cual se dificulta la recolección, transporte y posterior transformación
- ✓ La transformación energética es dispendiosa y costosa
- ✓ Gran parte de la biomasa terrestre es preciso conservarla y protegerla para la preservación de los ecosistemas.
- ✓ Cerca de un 40 % de la biomasa acuática conformada por algas y plantas es de difícil recuperación. [12]

1.3.El Biogás

1.3.1. ¿Qué es el Biogás?

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos, (bacterias metanogénicas, etc.), y otros factores, en ausencia de aire (esto es, en un ambiente anaeróbico).

Cuando la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno, actúa este tipo de bacterias, generando biogás. [13]

El biogás es un gas compuesto cerca de 60 % de metano (CH_4) Y 40 % de bióxido de carbono (CO_2). Contiene mínimas cantidades de otros gases entre ellos 1 % de ácido sulfhídrico (H_2S). Es un poco más liviano que el aire, posee una temperatura de inflamación de 700 °C y su llama alcanza una temperatura de 870 °C. [14]

La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables ya que produce un combustible de valor además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico. El biogás tiene como promedio un poder calorífico entre 4.500 a 5.600 Kcal/m³.

El biogás puede ser utilizado como cualquier otro combustible, tanto para la cocción de alimentos, en sustitución de la leña, el queroseno, el gas licuado, etc., como para el alumbrado, mediante lámparas adaptadas. Mezclas de biogás con aire, con una relación 1:20, forman un gas detonante altamente explosivo, lo cual permite que también sea empleado como combustible en motores de combustión interna adaptados. Es importante aclarar que este gas puede usarse como combustible sólo cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales a 50 %. [15]

1.3.2. Composición química del biogás

El biogás lo constituye una mezcla de gases y su composición depende del tipo de residuo orgánico utilizado para su producción y de las condiciones en que se procesa. La mezcla debe purificarse, si va a ser utilizada como combustible en motores de explosión. Se eliminan: El gas carbónico haciendo burbujear el biogás a través de agua, el ácido sulfhídrico haciéndolo burbujear a través de una solución de soda cáustica en agua que contiene sulfato de cobre disuelto o pasándolo por una trampa de limadura de hierro (esponjilla de alambre), o con la introducción de pequeñas cantidades de aire (3 % a 5 % del volumen del depósito para el biogás) reduciendo así hasta en un 95 % el ácido sulfhídrico producido. La humedad se elimina circulando el biogás entre cloruro de calcio o sílica gel. En la tabla 2 se muestra la composición química del biogás.

Tabla 2: Composición química del biogás

Composición Química del Biogás		
Componentes	Fórmula Química	Porcentaje (%)
Metano	CH ₄	60-70
Gas Carbónico	CO ₂	30-40
Hidrogeno	H ₂	1.0
Nitrógeno	N ₂	0.5
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxigeno	O ₂	0.1
Acido Sulfhídrico	H ₂ S	0.1

Fuente: Adaptado del Instituto de Investigaciones Eléctricas de México 1980 [16]

El metano es el componente energético útil y del contenido de este depende el valor combustible del biogás. Para la producción de biogás se sigue la secuencia de la figura 1.



Figura 1: Secuencia para la producción de Biogás.

Fuente: <http://www.scribd.com/.../1-fundamentos-basicos-para-diseno-iodigestores-rurales> [17]

1.3.3. Beneficios del Biogás

El biogás como producto obtenido del tratamiento de los residuos albañales, tiene diferentes beneficios para la sociedad como son:

- **Directos:**
 - ✓ Combustible para cocinar.
 - ✓ Generación de fuerza motriz, para accionar bombas de irrigación, molinos de harinas, cortadoras de basura.
 - ✓ Iluminación.
 - ✓ Generación de energía eléctrica para hornos y calderas.

- **Indirectos:**

- ✓ Economía de tiempo para cocinar.
- ✓ Menor contaminación por la ausencia de humo.
- ✓ Mayor limpieza.
- ✓ Facilidad para cocinar.
- ✓ Eliminación del trabajo en la colecta de madera y leña.

- **Sociales:**

- ✓ Aumento del nivel de vida de las comunidades rurales.
- ✓ Ayuda al mantenimiento de las áreas forestales cubiertas.

- **Ambientales:**

- ✓ Disminuye la erosión de suelos.
- ✓ Mejora el equilibrio ecológico mejora de la salud pública.
- ✓ Control de insectos y vectores.
- ✓ Disminuye la contaminación por la presencia de heces fecales.
- ✓ Contribuye al desarrollo sustentable.
- ✓ Ayuda a reducir el impacto de la crisis energética.
- ✓ Higienización y salud: Control de parasitismo.
- ✓ Durante el proceso de obtención del biogás queda prácticamente todo el nitrógeno que se utiliza: Fertilización de suelos. [18]

1.3.4. Aplicaciones del Biogás

El biogás, al igual que otros gases como el GLP (gas licuado de petróleo) y el gas natural, tiene una gran variedad de usos, tanto doméstico como industrial. Su principal uso doméstico es en las cocinas y el alumbrado, por cuanto no requiere ser purificado. Los usos más importantes del biogás para determinar la demanda energética del usuario son:

Cocinas. Se emplea con una presión de 75 - 90 mm de columna de agua (CA), a razón de 0,38 - 0,42 m³ por persona-día. Para presiones inferiores, el per cápita debe calcularse a razón de 0,5 m³/día.

Alumbrado. Si se utiliza una lámpara de 100 candelas (aproximadamente 60 W), esta consume de 0,11 a 0,15 m³/h de biogás, requiriendo una presión de 70 a 85 mm de CA.

Calderas. En dependencia del tamaño del quemador, los consumos serán:

- ✓ Diámetro del quemador 50 mm: $0,32 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$
- ✓ Diámetro del quemador 100 mm: $0,46 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$
- ✓ Diámetro del quemador 150 mm: $0,63 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$

Motores de combustión interna. El biogás es un combustible excelente para motores, tanto de gasolina como diesel. Sólo se registra una ligera disminución de la potencia y el motor trabaja algo más caliente que con el combustible líquido. Si se dotan de un mezclador de aire-gas adecuado, los motores de gasolina pueden trabajar con 100 % de biogás, sin necesidad de gasolina, incluso en el arranque. No ocurre lo mismo con los motores Diesel, debido a que la temperatura al final de la carrera de compresión no es superior a los 700 °C, y la temperatura de ignición de la mezcla aire-biogás es de 814 °C, por lo que se hace necesaria la inyección de una pequeña cantidad de combustible diesel antes de finalizar la carrera de compresión del pistón, para obtener la ignición de la mezcla y asegurar el funcionamiento normal del motor.

En condiciones óptimas se logra economizar entre 70 y 85 % del combustible diesel, sustituyéndolo por biogás. El consumo en motores es 0,45 - 0,54 m³/h por caballo fuerza (HP) de carga, o 0,60 - 0,70 m³/h por kW de carga, con una presión de 25 a 100 mm de CA.



Soldaduras. La temperatura de una llama de oximetano es de alrededor de 3000 °C, es decir 250 °C menos que la llama oxiacetilénica. La temperatura de la llama oxi-biogás sería menor aún en dependencia del porcentaje de metano del biogás, por lo que no sería aplicable a las soldaduras ferrosas, aunque sí puede utilizarse para soldar aleaciones de latón, cobre y bronce. [19]

1.4.El Biodigestor

Un biodigestor es un sistema sencillo de conseguir solventar la problemática energética - ambiental, así como realizar un adecuado manejo de los residuos tanto humanos como animales.

Un digester de desechos orgánicos o biodigestor es, en su forma más simple, es un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales no se incluyen cítricos ya que acidifican), en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos.

1.4.1. ¿Qué es un biodigestor?

Un biodigestor es un sistema natural y ecológico que aprovecha la digestión anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de las bacterias para transformar el estiércol en biogás y fertilizante. El biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas, o iluminación, y en grandes instalaciones se puede utilizar para alimentar un motor que genere energía eléctrica.

El fertilizante, llamado biól, inicialmente se ha considerado un producto secundario, pero actualmente se está considerando de la misma importancia, o mayor, que el biogás ya que provee un fertilizante natural que mejora fuertemente el rendimiento de las cosechas. [20]

✓ **Etimológicamente**

BIO.- Por que bio es de vida, es decir que contiene microorganismos vivos llamados bacterias que son los que trabajan.

DIGESTOR.- Porque la fermentación sin oxígeno se conoce como digestión anaeróbica. [21]

A continuación en la figura 2 se muestra la imagen en la que se representa el esquema de un biodigestor.

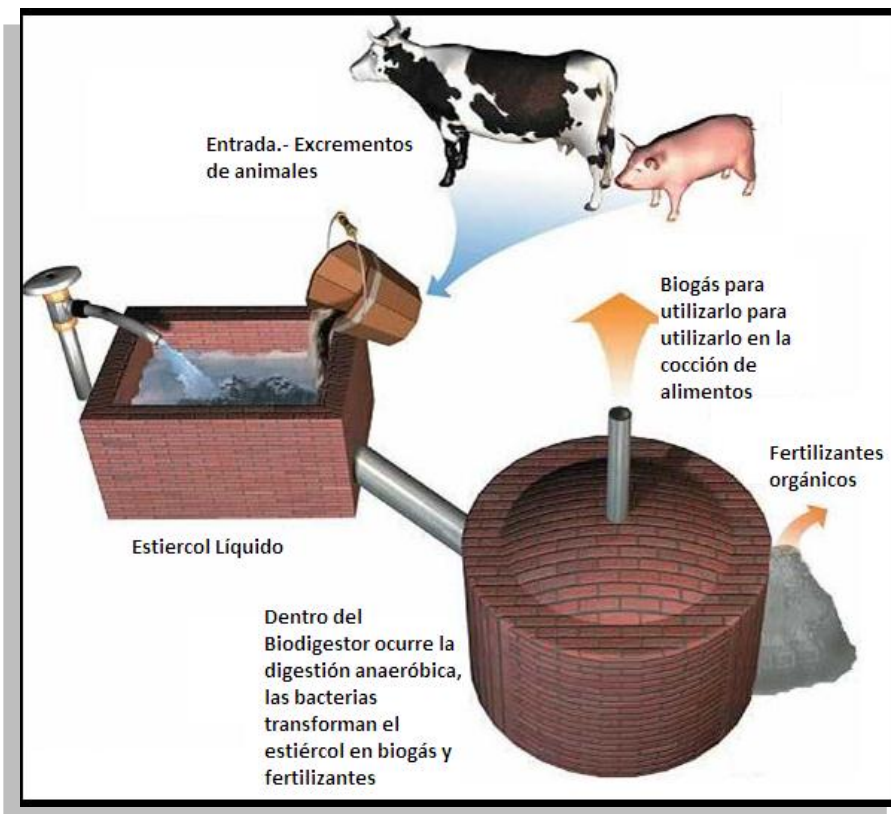


Figura 2: Esquema de un Biodigestor

Fuente: <http://yollegoafindemes.carrefour.es/images/2009/05/biodigestor.JPG> [22]

1.4.2. Digestión Anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso biológico degradativo en el cual, parte de la materia orgánica contenida en un sustrato es convertida en una mezcla de gases, principalmente metano y dióxido de carbono.



La digestión anaerobia es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea.

Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaerobia de la materia orgánica en cuatro fases o procesos:

- ✓ Hidrólisis
- ✓ Etapa fermentativa o acidogénica
- ✓ Etapa acetogénica
- ✓ Etapa metanogénica

La primera fase es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, hidratos de carbono y lípidos) que son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga) que son fermentados por las bacterias acidogénicas dando lugar, principalmente, a ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios.

Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. Por último, los microorganismos metanogénicos producen metano a partir de acético, H_2 y CO_2 . [23]

A continuación se muestra las etapas metabólicas que ocurren en los procesos de digestión anaerobia representadas en la figura 3.

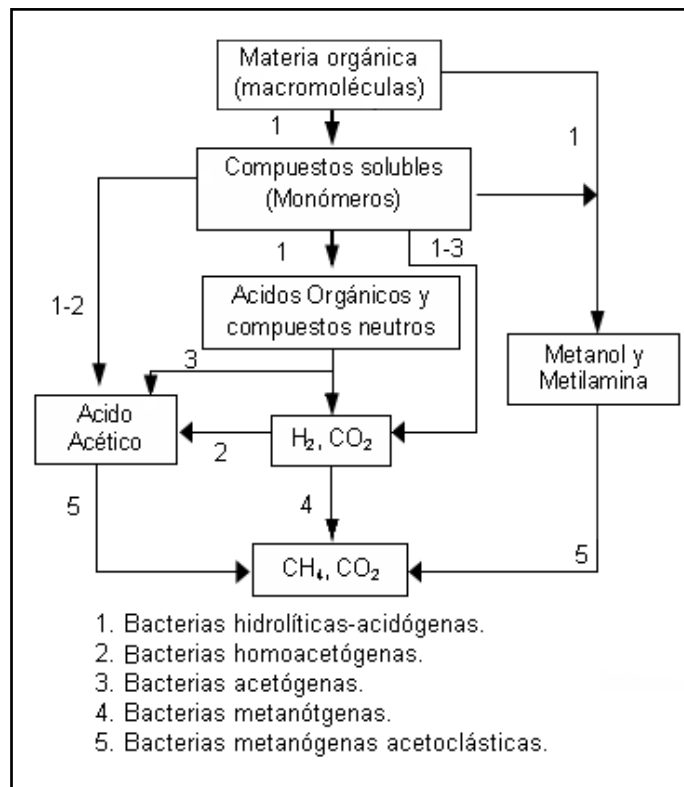


Figura 3: Etapas de la fermentación bacteriana (Montalvo, 2003)

Fuente:<http://www.monografias.com/trabajos82/biodigestorescampana/biodigestores-campana.shtml>. [10]

1.4.2.1. Condiciones para la digestión anaeróbica

Las condiciones para la obtención de metano en el digestor son las siguientes:

- ✓ Temperatura entre los 20 °C y 60 °C
- ✓ pH (nivel de acidez/ alcalinidad) alrededor de siete.
- ✓ Ausencia de oxígeno.
- ✓ Gran nivel de humedad.
- ✓ Materia orgánica
- ✓ Que la materia prima se encuentra en trozo más pequeños posible.
- ✓ Equilibrio de carbono/nitrógeno. [24]

1.4.2.2. Procesos de digestión para tratar los residuos orgánicos

La digestión para degradar los residuos orgánicos y/o producir biogás en un proceso microbiano, por lo que se necesita condiciones ambientales propicias y un manejo adecuado para que funcione eficientemente el sistema, desde que se carga el digester hasta la producción del gas y salida del efluente. Existen muchos procesos para tratar los diversos residuos orgánicos, los cuales dependen de las condiciones de diseño del sistema, como de los propios digestores y del modo del sistema, como de los propios digestores y del modo de presentación de los substratos a ser fermentados. Según la forma de alimentación pueden ser:

- **Fermentación Continua**

Cuando la fermentación en el digester es un proceso ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al material que entra, la producción de gas es uniforme en el tiempo; este proceso se aplica en zonas con ricas materias residuales y digester de tamaño grande (mayor de 15 m³) y mediano (entre 6.3 y 15 m³).

La característica más importante es la alta dilución de la carga, de 3 a 5 veces agua / excreta y además su manejo es relativamente fácil, pues lo que se hace es un manejo hidráulico del sistema, que puede llegar a no requerir mano de obra en la operación si las condiciones topográficas son favorables. El digester se carga diaria o interdiariamente adicionando nuevas cantidades de lodos frescos.

En la figura 4 se muestra el esquema del proceso de fermentación continua.



Figura 4: Esquema del proceso de fermentación continua

Fuente: <http://www.scribd.com/.../1-fundamentos-basicos-para-diseno-biodigestores-rurales> [17]

- **Fermentación Semicontinua**

La primera carga que se introduce, consta de gran cantidad de materiales; cuando va disminuyendo gradualmente el rendimiento del gas se agregan nuevas materias primas y se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad.

El sustrato a degradar ocupa un volumen en el digestor (80 %), mientras que el resto del volumen (20 %) es reservado para realizar cargas continuas diarias o intermedias, a medida que va disminuyendo gradualmente el rendimiento del gas.

Esta operación reúne las ventajas y desventajas del batch, pero en el caso del bioabono, por la adición continua de materia rica en nutrientes incrementa aun más su calidad.

Una forma de operación podría ser: Se incorpora al digestor una carga batch de pasto o restos de cosecha y la carga continua es con excretas de porcinos o humanos. Debido a que el suministro de lodos frescos no es constante el proceso se hace bastante largo, por esta razón en la práctica se acelera mediante la utilización y el control de factores favorables.

- **Fermentación por lotes**

Los digestores se cargan con material en un solo lote, cuando el rendimiento de gas decae a un bajo nivel, después de un periodo de fermentación, se vacían los digestores por completo y se alimenta de nuevo.

También se conoce como operación "Batch", todo adentro todo fuera. El material de carga se caracteriza, por una alta concentración de sólidos, el cual debe ser adecuadamente inoculado, sobre todo cuando se fermentan materiales vegetales. Las ventajas operativas es que el proceso una vez iniciado llega al final sin contratiempos, necesitando mano de obra solo al momento de la carga y la descarga. La desventaja es que al tratarse de manejo de sólidos sobre todo cuando son grandes volúmenes requiere mecanizarlo, no obstante hay gran producción de gas por unidad de volumen y un bioabono de buena calidad, el proceso se demuestra en la figura 5.

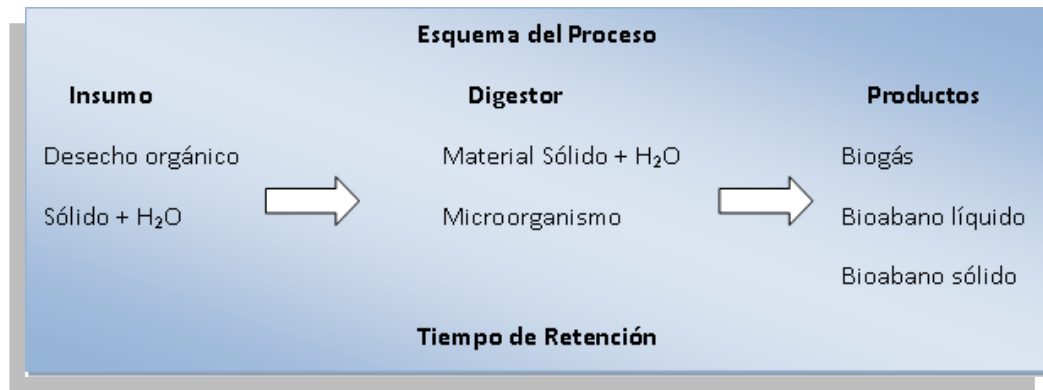


Figura 5: Esquema del proceso fermentación por lotes

Fuente: <http://www.scribd.com/.../1-fundamentos-basicos-para-diseno-biodigestores-rurales> [17]

1.4.3. Tipos de Biodigestores

Los biodigestores se clasifican en dos grandes tipos de Flujo Discontinuo y de Flujo Continuo.

1.4.3.1. Biodigestores de Flujo Discontinuo

La carga de la totalidad del material a fermentar se hace al inicio del proceso y la descarga del efluente se hace al finalizar el proceso; por lo general requieren de mayor mano de obra y de un espacio para almacenar la materia prima si esta se produce continuamente y de un depósito de gas (debido a la gran variación en la cantidad de gas producido durante el proceso, teniendo su pico en la fase media de este) o fuentes alternativas para suplirlo. [25]

- **Ventajas de los Biodigestores discontinuos**

- ✓ Pueden procesarse una gran variedad de materiales, la carga puede juntarse en campo abierto porque, aunque tenga tierra u otro inerte mezclado, no entorpece la operación del biodigestor.
- ✓ Admiten cargas secas que no absorban humedad, así como de materiales que flotan en el agua.

- ✓ Su trabajo en ciclos, los hace especialmente aptos para los casos en que la disponibilidad de materia prima no sea continua, sino periódica.
- ✓ No requiere prácticamente ninguna atención diaria.

- **Las principales desventajas son**

- ✓ La carga requiere un considerable y paciente trabajo.
- ✓ La descarga, también es una operación trabajosa. [26]

En la figura 6 se muestra un sistema discontinuo con sus partes.

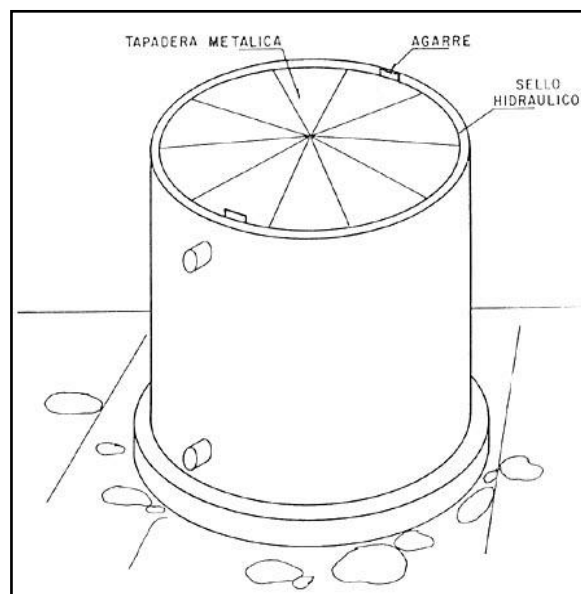


Figura 6: Sistema Batch o discontinuo [27]

Fuente: <http://www.itdg.org.pe/fichastecnicas/pdf/FichaTecnica8-Biodigestores.pdf>

1.4.3.2. Biodigestores de Flujo Continuo

La carga del material a fermentar y la descarga del efluente se realiza de manera continua o por pequeños baches (Ejemplo, una vez al día, cada 12 horas) durante el proceso, que se extiende indefinidamente a través del tiempo; por lo general requieren de menos mano de obra, pero de una mezcla más fluida o movilizadora de manera mecánica y de un depósito de gas (si este no se utiliza en su totalidad de manera continua).

Existen tres clases de biodigestores de flujo continuo.

- ✓ Biodigestor de Cúpula Fija (Modelo Chino)
- ✓ Biodigestor de Cúpula Móvil (Modelo Hindú)
- ✓ Biodigestor de tipo Salchicha. [25]

- **Biodigestor de Cúpula Fija o Chino**

Los biodigestores de tipo chino son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo, y se construyen totalmente enterrados. En este tipo de digestores no existe gasómetro, almacenándose el biogás dentro del mismo sistema.

A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo de la planta, aumenta su presión, forzando al líquido en los tubos de entrada y salida a subir, y llegándose a alcanzar presiones internas de hasta más de 100 cm., de columna de agua. La producción de biogás en este tipo de digestores es de 0,1 a 0,4 m³ de biogás/m³ de digestor. A pesar de que el digestor tipo chino es poco eficiente para generar biogás, es excelente en la producción de bioabono, ya que los tiempos de retención son en general extensos.

La figura 7 nos indica el modelo de digestor tipo chino con sus partes principales

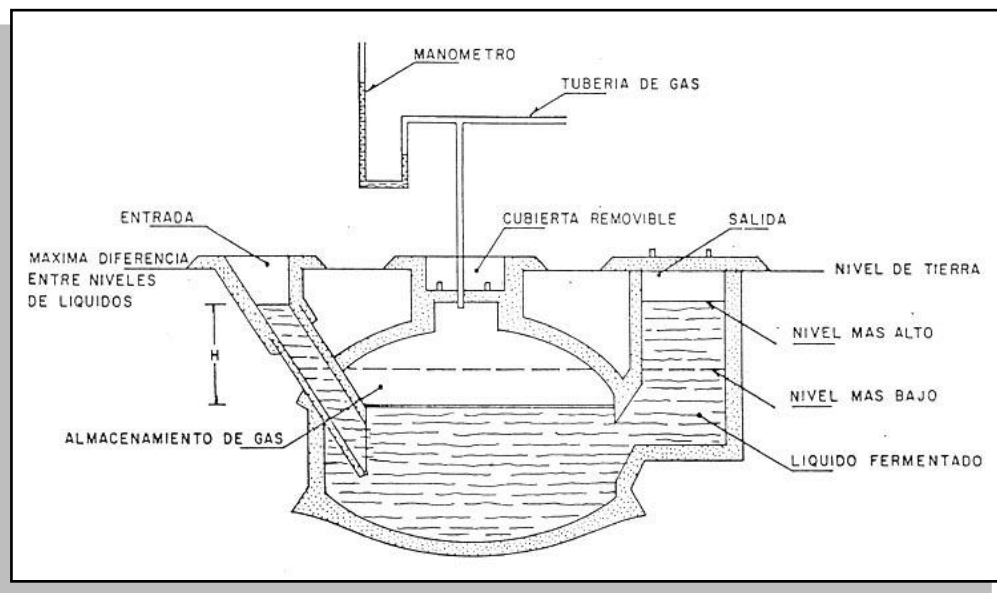


Figura 7: Biodigestor de cúpula fija (Tipo Chino) [27]

Fuente: <http://www.itdg.org.pe/fichastecnicas/pdf/FichaTecnica8-Biodigestores.pdf>

- **Biodigestor de Campana Flotante o Hindú**

El biodigestor tipo hindú consiste en un tanque reactor vertical que tiene instalado una campana flotante recolectora de biogás. De esta forma, la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de alrededor de 300 mm de columna de agua. Con esta campana se logra, además, una presión constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta. La campana también ayuda al rompimiento de la espuma que se forma en muchos biodigestores. En este biodigestor se alcanzan productividades volumétricas (Pv) de 0.5 a 1 m³ de biogás/volumen de reactor por día. Un esquema de dicha instalación se muestra en la figura 8. [10]

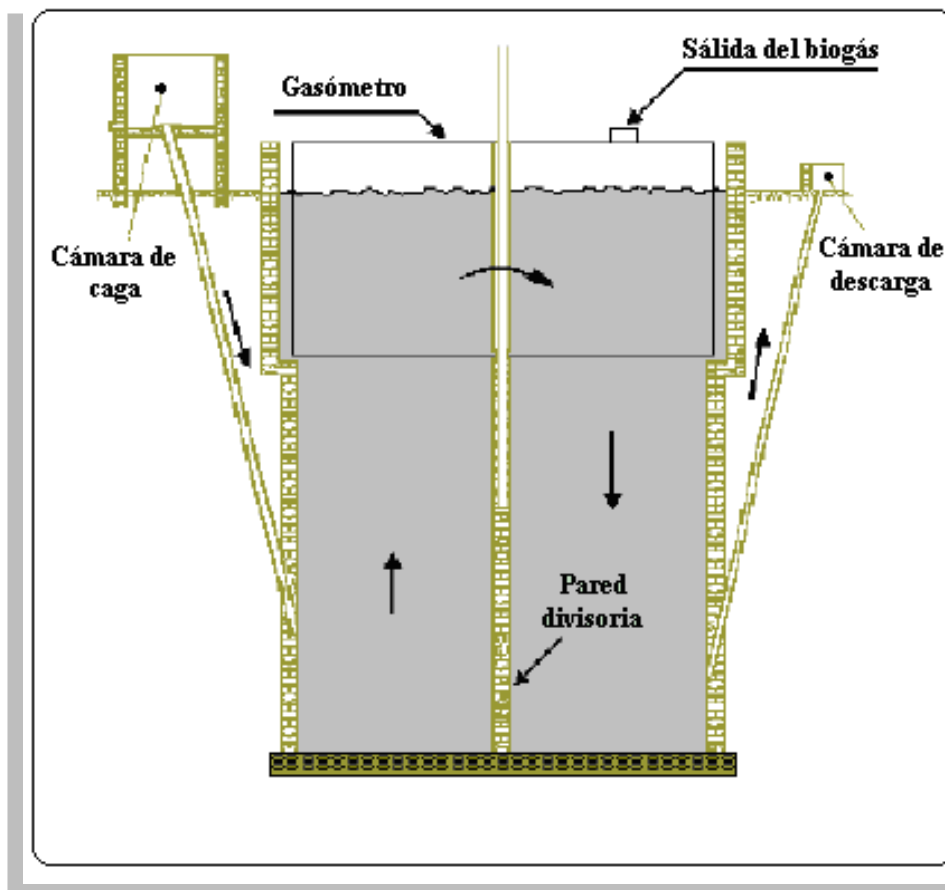


Figura 8: Biodigestor de campana flotante (Tipo Hindú).

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos82/biodigestores-campana/biodigestores-campana.shtml>. [10]

- **Biodigestor de tipo tubular o de Salchicha**

Fabricados de goma, polietileno o Red-Mud-Plástico (RMP). Este último material fue desarrollado por primera vez en Taiwán y después en China donde ha demostrado sus excelentes cualidades para ser usado en biodigestores. Este material producido en forma laminar es una mezcla de lodos rojos residuales de la extracción de la bauxita y contiene PVC, plasticador, estabilizador y otros ingredientes. Al principio los digestores de RMP se hacían tubulares, mas tarde se construyeron en forma de tiendas de campaña. También de esta forma se han construido biodigestores en Nepal, pero de PVC. Este sistema es sencillo y económico, apropiado para las granjas pequeñas. Posee tuberías de entrada y salida de los residuales y como elemento fundamental una bolsa de polietileno que sirve de digestor. [28]

En la figura 9 se muestra las partes de un biodigestor tipo tubular:

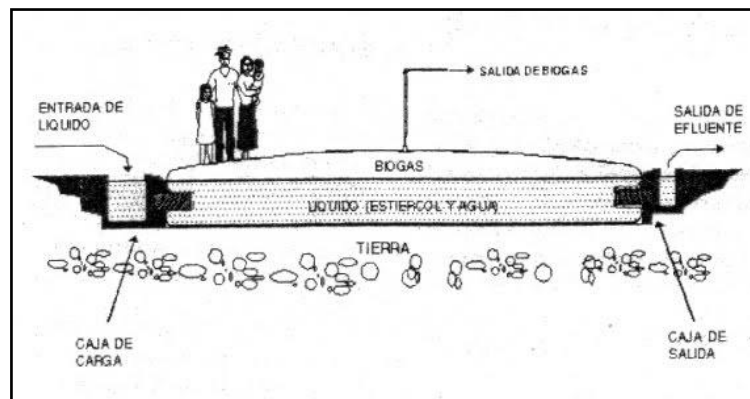


Figura 9: Biodigestor tipo tubular (Tipo Salchicha)

Fuente:http://3.bp.blogspot.com/_g2j1GqVw-4Q/SwQT_-S1sGI/AAAAAAAAAUE/ytAtI7HvB6A/s1600/d.jpg [29]

1.5. Estaciones depuradoras de aguas albañales o residuales

Una estación depuradora de aguas residuales (EDAR), también llamada planta de depuración, tiene el objetivo genérico de conseguir, a partir de aguas negras o mezcladas y mediante diferentes procedimientos físicos, químicos y biotecnológicos, un agua efluente de mejores características de calidad y cantidad, tomando como base ciertos parámetros normalizados.

En general, las estaciones depuradoras de aguas residuales tratan agua residual local, procedente del consumo ciudadano en su mayor parte, así como de la escorrentía superficial del drenaje de las zonas urbanizadas, además del agua procedente de pequeñas ciudades, mediante procesos y tratamientos más o menos estandarizados y convencionales.

1.5.1. La contaminación en el agua

En general, se puede dividir la contaminación presente en el agua en la que está disuelta y la que está en suspensión, flotación o arrastrada por el agua.

También se puede separar la contaminación que es inorgánica, de la que no lo es, y aquella que es eliminable de manera normal por la naturaleza y aquella que no lo es.

Existen parámetros normales para la medida de la contaminación en general, que se puede estimar con indicadores como la DBO5 (demanda biológica de oxígeno a los cinco días) y la DQO (demanda química de oxígeno), que son las cantidades de oxígeno que se necesitan para oxidar la materia orgánica susceptible de ser oxidada bien por vía biológica (bacterias y microorganismos) o bien por vías químicas. Existe otro parámetro muy aleatorio como es la cantidad de sólidos en suspensión totales (SST) que da una idea de la cantidad de materia humana del agua.

1.5.2. Tratamientos convencionales

✓ Pretratamiento y tratamiento primario

Los tratamientos físicos, asociados en el ámbito europeo a la terminología tratamiento primario, consisten fundamentalmente en separar la contaminación presente en el agua en suspensión, flotación o arrastre.

Así, nos encontramos el desbaste, para la eliminación de gruesos, trapos, compresas. El desarenado, para eliminación de arenas, granos de café el desengrasado, para la eliminación de los sólidos y líquidos no miscibles de menor densidad que el agua.

El desbaste, el desengrasado y el desarenado suelen denominarse como pretratamiento por ser el primer proceso que se realiza sobre las aguas residuales, y ser necesario para no dañar los equipos de los tratamientos posteriores. A continuación, se realiza como tratamiento primario propiamente dicho una decantación para la eliminación de las partículas menores de un determinado tamaño (sólidos en suspensión) no hayan podido eliminarse en el pretratamiento. Este proceso es conocido como decantación primaria.

✓ **Tratamiento secundario**

El proceso habitual de depuración, si es necesario, prosigue normalmente atacando a la fracción de la contaminación disuelta en el agua. Para ello se recurre convencionalmente a bacterias que dentro de tanques grandes, agitados y con ayuda a la oxigenación del agua, se encargan de alimentarse de esta materia orgánica disuelta, separándose posteriormente del agua mediante un nuevo proceso de decantación. El proceso de tratamiento biológico recibe el nombre de tratamiento secundario, y la decantación de la mezcla de agua y bacterias se conoce como decantación secundaria.

Existen muchos tipos de tratamiento secundarios (fangos activos, aireación prolongada, lechos bacterianos, biodiscos), pero el principio de funcionamiento es común. No obstante, éstos se pueden agrupar en tratamientos de biomasa suspendida y tratamientos de biomasa fija. En los primeros la biomasa (bacterias) está suspendida en el medio acuático en contacto con la contaminación orgánica mediante agitación (fangos activos, aireación prolongada), mientras que en los segundos la biomasa se fija sobre un material soporte que se pone en contacto con el agua y la contaminación orgánica (lechos bacterianos, biodiscos).

✓ **Tratamiento terciario**

Se conoce como tratamiento terciario a todos los tratamientos físico - químicos destinados a afinar algunas características del agua efluente de la depuradora con vistas a su empleo para un determinado uso. Así hay diversos tratamientos según el objetivo, pero el más habitual es el de la higienización, destinada a eliminar la presencia de virus y gérmenes del agua (cloración, rayos UV)

✓ Línea de fangos

La depuración del agua consigue extraer del agua la contaminación, a expensas de un consumo energético, pero produce los residuos, concentrados, de todo lo que el agua llevaba. Estos subproductos son, los procedentes del tratamiento primario (salvo los fangos obtenidos de la decantación primaria) asimilables a residuos sólidos urbanos (basuras). Los fangos procedentes de las decantaciones reciben un tratamiento especial (espesamiento, digestión, deshidratación) hasta que son susceptibles de ser tratados como residuo sólido urbano o incinerados, o bien a un subproducto capaz de, tras otros tratamientos como la estabilización o el compostaje, ser reutilizado como abono en la agricultura u otros usos. Los lodos o fangos de depuración, ya sea procedente de estaciones de aguas residuales urbanas o de industriales, tienen su propia legislación, que se fundamenta en su contenido en metales pesados. Por debajo de cierto nivel, el mejor destino es el campo como abono o enmienda orgánica, luego el compostaje y como peores salidas tenemos el depósito en vertedero y la incineración. Para su correcta utilización agrícola, hay que disponer de una analítica pormenorizada del subproducto. Según el cultivo a establecer tras el abonado, tendremos unas dosis de máximas a aplicar. Dependiendo de los contenidos en metales, agua, nitrógeno en sus diversas formas, fósforo, materia orgánica, etc, las dosis habituales son entre 15 y 40 toneladas de lodo por hectárea (10.000 m²), que se esparcen de la forma más uniforme posible y deben incorporarse al terreno lo más rápido posible para reducir los olores y emisiones gaseosas que reducen el poder fertilizante del material. La digestión de los fangos, cuando se realiza por vía anaerobia, produce biogás, una mezcla de gases inflamables (metano fundamentalmente) y contaminantes. El biogás es quemado y, a veces, en plantas grandes, se puede y es rentable reaprovechar esta energía dentro de la propia planta, tanto en forma de energía térmica (los fangos necesitan estar a una cierta temperatura para poder ser digeridos) como en la producción de energía eléctrica. Las Depuradoras generan malos olores provenientes de las fases anaerobias que aparecen a lo largo del proceso de depuración. Como soluciones preventivas se utiliza la adición de oxígeno en forma de Nitrato Cálcico para inhibir la aparición del H₂S. [30]

2. CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS

En el Capítulo II se presenta una secuencia o flujo de cálculos y actividades que permita tener una idea clara del tamaño y forma del biodigestor necesitado, este diseño debe responder tanto al lugar y a la aplicación de esta tecnología. Conociendo la región, la provincia y el lugar donde va a estar ubicado el biodigestor, y en función al material orgánico que se dispone y que se va hacer tratado, de esta manera se podrá seleccionar el biodigestor más adecuado para la cocción de los alimentos en la Residencia Universitaria.

- **Metodología a seguir para el diseño del biodigestor**

El diseño del biodigestor consta de las siguientes actividades que va desde los preliminares hasta el cálculo de producción, selección del biodigestor, sus dimensiones, materiales y su gráfica.

2.1.Preliminares para el diseño del biodigestor

- ✓ **Recolección de información de la zona en estudio:**

- **Descripción del Área de Estudio.**

La Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saiz Montes de Oca”, es una de las principales instituciones de preparación de nivel superior en la provincia más occidental de la República de Cuba, la misma que fue creada en 1972. Desde aquel entonces se ha consagrado como una casa de altos estudios, así también, ha mostrado un proceso notable de evolución y desarrollo, tanto que actualmente se ha destacado en carreras del campo de las Humanidades, Técnicas e Ingenierías.

Al hablar de su edificación esta empieza desde el año 1974 hasta 1977, en donde se realizó la construcción de la casina, y los 4 primeros edificios, dando paso al año 1980, en donde se inicia con la construcción de los edificios (5A, 5B) y (6A, 6B). Posteriormente en el año 1990 se paraliza la construcción hasta la actualidad, por falta de recursos económicos quedando por culminar varias etapas de la planificación. La superficie de construcción fue destinada para el área pedagógica.



En sus inicios, la residencia universitaria provisional estuvo ubicada en Reparto Maica, y actualmente se encuentra ubicada en la Panamericana principal José Martí, calle 27 de Noviembre, y cubriendo la mayor parte de su área la línea férrea en la parte posterior en la entrada a la ciudad Pinar del Río como se muestra en la figura 10.



Figura 10: Se muestra la ubicación de la Universidad de Pinar del Río.

Fuente:

[http://www.bedincuba.com/cuba_mapa_carreteras_road_map/cuba_mapa_carreteras_map_road_pinar_del_rio_\(2\)_3.jpg](http://www.bedincuba.com/cuba_mapa_carreteras_road_map/cuba_mapa_carreteras_map_road_pinar_del_rio_(2)_3.jpg) [31]

- **Condiciones climáticas.**

Pinar del Río se encuentra ubicado en una zona tropical. Su temperatura promedio oscila entre los 25 °C, en la mayor parte del año, teniendo un descenso notable en los dos últimos y primeros meses del año, en la cual la temperatura es de 10 °C.

- **Información catastral de las personas existentes en la Residencia Universitaria.**

En la tabla 3 se muestra la cuantificación de los habitantes de la residencia estudiantil.

Tabla 3: Demografía de los habitantes de la residencia estudiantil

Habitantes en la Residencia de la Universidad de Pinar del Río		
Edificio	Designación	Habitantes
1	Estudiantes Becados	252
2	Estudiantes Becados	239
3	Trabajadores/Administrativos	259
4	Estudiantes Becados	126
5A	Estudiantes Becados	144
5B	Estudiantes Becados	141
6A	Autofinanciados/Profesor	70
6B	Estudiantes Becados	119
Comedor	Empleados	37
Trabajadores		56
Total habitantes		1443

Fuente: Departamento de Recursos Humanos de la Universidad Pinar del Río

2.2. Producción de excreta humana por día

Para el cálculo de la cantidad de excreta humana generada por día, se utilizará los datos de la tabla 4.

Tabla 4: Producción de biogás según la especie animal.

Especie Animal	Cantidad de excreta por día (kg)	Rendimiento de Biogás (m ³ /kg excreta)	Producción de Biogás (m ³ /animal.día)	Relación Excreta:Agua
Vacuno <ul style="list-style-type: none"> • Grande • Mediano • Pequeño • Ternero 	15 10 8 4	0.04 0.04 0.04 0.04	0.60 0.40 0.32 0.16	1:1
Búfalo <ul style="list-style-type: none"> • Grande • Mediano • Pequeño • Ternero 	20 15 10 5	0.04 0.04 0.04 0.04	0.80 0.60 0.40 0.20	1:1
Cerdo <ul style="list-style-type: none"> • Grande • Mediano • Pequeño 	2.0 1.5 1.0	0.07 0.07 0.07	0.14 0.10 0.07	1:1 a 1:3
Avícola <ul style="list-style-type: none"> • Grande • Mediano • Pequeño 	0.15 0.10 0.05	0.06 0.06 0.06	0.009 0.006 0.003	1:3
Ovino <ul style="list-style-type: none"> • Grande • Mediano • Pequeño 	5.0 2.0 1.0	0.05 0.05 0.05	0.25 0.10 0.05	1:2 a 2:3
Pato	0.15	0.05	0.008	1:2 a 2:3
Paloma	0.05	0.05	0.003	2:3 a 1:3
Caballo	15.0	0.04	0.60	1:2 a 2:3
Camello	20.0	0.03	0.60	1:2 a 2:3
Elefante	40.0	0.02	0.80	1:2 a 2:3
Humanos <ul style="list-style-type: none"> • Adulto • Niño 	0.40 0.20	0.07 0.07	0.028 0.014	1:2 a 2:3

2.2.1. Producción de excreta humana por edificios

Para conocer la producción de excreta humana que genera cada edificio se realizara con la siguiente fórmula:

$$P_e = N_h \times C_{eh}$$

Donde:

P_e = Producción de excreta humana por edificio (kg).

N_h = Número de habitantes.

C_{eh} = Cantidad de excreta humana por día (0,40 kg).

2.2.2. Producción total de excreta humana

Para el cálculo de la producción total de excreta humana en la residencia universitaria se sumara la cantidad producida por cada edificio.

$$PT = (P_{e1} + P_{e2} + P_{e3} + P_{e4} + P_{e5A} + P_{e5B} + P_{e6A} + P_{e6B} + P_{eC} + P_{eT})$$

Donde:

PT = Producción total de excreta humana.

P_{e1} = Producción de excreta humana por día en el edificio 1

P_{e2} = Producción de excreta humana por día en el edificio 2

P_{e3} = Producción de excreta humana por día en el edificio 3

P_{e4} = Producción de excreta humana por día en el edificio 4

P_{e5A} = Producción de excreta humana por día en el edificio 5A

P_{e5B} = Producción de excreta humana por día en el edificio 5B

P_{e6A} = Producción de excreta humana por día en el edificio 6B

P_{eC} = Producción de excreta humana de los empleados en el comedor

P_{eT} = Producción de excreta humana por día de los trabajadores

2.2.3. Potencial de Biomasa

El potencial total de la biomasa producida por los habitantes a diario en la residencia universitaria es la siguiente:

$$PB = PT$$

Donde:

PB = Potencial de Biomasa.

PT = Producción total de excreta humana.

✓ Agua necesaria

La siguiente fórmula nos permite conocer la cantidad de agua que debemos colocar en la biomasa existente para obtener un desarrollo apropiado de las bacterias que producen el metano.

$$A_n = 3 \times PB \left(\frac{\text{kg de agua}}{\text{kg de excreta}} \right)$$

Donde:

A_n = Agua necesaria.

PB = Potencial de Biomasa.

Con esta cantidad de agua se forma la totalidad de la biomasa a degradar.

✓ Biomasa disponible

$$BD = PB + A_n$$

Donde:

BD = Biomasa disponible (kg de biomasa por día)

Para el tratamiento se recomienda emplear un metro cúbico de capacidad en el biodigestor por cada 1000 Kg de Biomasa, pues se considera aquí que la biomasa formada en sus tres cuartas partes está formada por agua y posee una densidad equivalente a la de ésta. [32]

✓ **Volumen diario de biomasa**

$$V_{BM} = \frac{BD}{1000}$$

Donde:

$$V_{BM} = \text{Volumen diario de biomasa} \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right)$$

BD = Biomasa disponible.

2.3. Selección del tipo de biodigestor a utilizar

Para la selección del modelo de biodigestor más factible a diseñar se realizó la comparación de los parámetros técnicos de dos tipos de biodigestores, los que son los más utilizados y nos proporcionan diversas ventajas, los cuales que son:

- ✓ Biodigestor de cúpula fija o modelo chino
- ✓ Biodigestor de campana flotante o modelo hindú.

Para la selección del modelo de biodigestor se tomaron en cuenta las características que se muestran en la figura 11 y en la tabla 5.

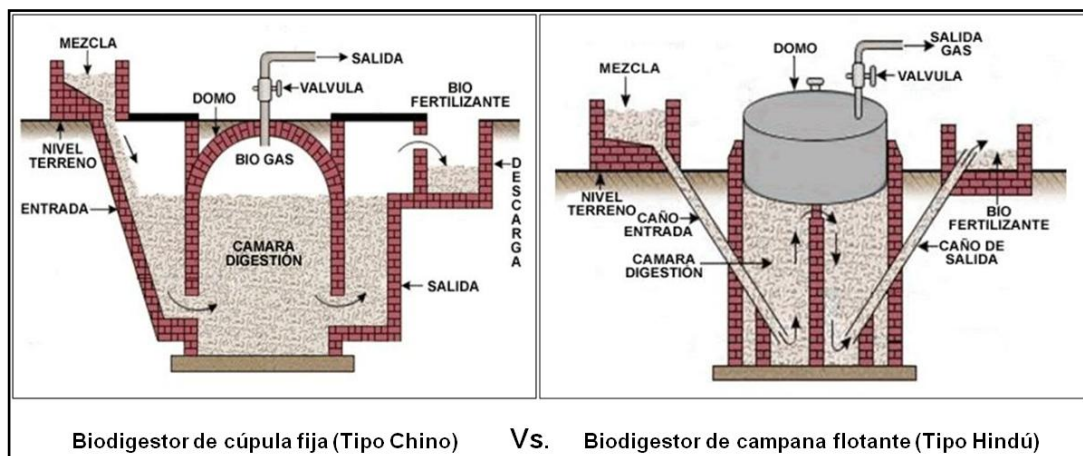


Figura 11: Comparación del biodigestor de cúpula fija (Tipo Chino) versus el biodigestor campana flotante (Tipo Hindú)

Fuente: <http://ricardo.bizhat.com/rmr-prigeds/biodigestores-biogas.htm> [33]

Tabla 5: Comparación entre biodigestores de campana flotante y cúpula fija

Parámetros técnicos y tecnológicos	Cúpula fija	Campana flotante	Exigencias
Presión	La presión de gas aumenta según la cantidad de gas almacenado, en muchos casos la presión de gas es muy alta	Presión de gas constante	Que no afecte el proceso tecnológico
Manejo	No posee partes Móviles, manejo complicado	Manejo fácil y razonable. El gas almacenado es directamente visible	Manejo más fácil posible
Construcción	Construcción subterránea que ayuda a ahorrar espacio. Bajos costos de construcción, dificultad en el sellado de la planta	Construcción subterránea. Altos costos de construcción de la campana. Pocos errores posibles en la construcción	Que la planta sea lo más fiable posible
Vida útil	20 años o más	Hasta 15 años. En costas tropicales unos 5 años de vida para la campana	La mayor vida útil posible
Economía	Bajos costos de construcción	Altos costos de construcción de la campana. Costos de mantenimiento periódicos causados por la pintura	Menor costo posible.
Productividad volumétrica	0.15 a 0.2m ³ de biogás/volumen de reactor x día	0.5 a 1m ³ de biogás/volumen de reactor x día	Mayor productividad posible
Eficiencia	Se alcanza la máxima eficiencia (50% de reducción de materia orgánica) con un tiempo de retención de 30-60 días	Solo se requiere de ½ a 1/3 del tiempo de retención con respecto al biodigestor de cúpula fija	Mayor eficiencia posible

Fuente: (Urbáez, 2007). [34]



La comparación indica que el biodigestor que está más acorde con los parámetros requeridos para el diseño (presión constante, manejo fácil y buena digestión en zonas tropicales), es el de tipo hindú o campana flotante, por lo tanto se seleccionó este tipo de biodigestor.

2.3.1. Metodología para el diseño de un biodigestor tipo Hindú

El principal objetivo del diseño de un biodigestor es alcanzar un alto contenido de biomasa dentro del mismo que permita una alta producción de biogás y una alta reducción de la materia orgánica por unidad de volumen del biodigestor. Antes de comenzar la construcción de cualquier modelo, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ La instalación y mantenimiento debe ser socialmente aconsejable, técnicamente posible y económicamente justificable.
- ✓ El biogás substituirá a la leña, el carbón o algún derivado del petróleo y la digestión contribuirá a reducir la polución, proveyendo además un biofertilizante.
- ✓ El modelo elegido debe ser el conveniente para las condiciones climáticas locales.
- ✓ El proyecto debe ser elaborado según la materia prima disponible y la demanda de biogás diaria. También hay que tener en cuenta la existencia de otras fuentes alternativas de energía en la propiedad.
- ✓ La localización será la apropiada según la distancia de los puntos de consumo, la ubicación de los residuos y la fuente de agua, la topografía del terreno, la textura del suelo y el nivel freático.
- ✓ Las consideraciones dependientes del tamaño para el diseño de una planta de biogás en áreas rurales incluyen: la cantidad y el tipo de desperdicios disponibles, las dimensiones de los trozos o partículas, el requerimiento de calefacción, la necesidad de agitación y la disponibilidad de materiales de construcción.

Un biodigestor modelo hindú está compuesto básicamente de:

- ✓ 1 sistema de entrada de material a ser digerido
- ✓ 1 cámara de digestión
- ✓ 1 sistema de descarga del efluente
- ✓ 1 depósito de gas. [35]

2.4. Diseño del biodigestor

Para el diseño del biodigestor de tipo hindú se debe tomar en cuenta los siguientes factores como son:

2.4.1. Ubicación del biodigestor

La ubicación de un biodigestor es tan importante como su propia construcción. Una planta mal ubicada será una instalación inútil, a la que no se le sacará provecho. Por el contrario, una buena ubicación desempeña un papel importante para su fácil manejo y operación.

Un estudio previo del lugar y una detallada evaluación reportarán ganancias en el futuro. Los principales aspectos que se deben tener en cuenta al ubicar un biodigestor son los siguientes:

- ✓ Seleccionar el lugar más cercano posible a la fuente de materia prima.
- ✓ Debe tratarse, por todos los medios, de que la topografía del terreno permita el cargado de la planta por gravedad.
- ✓ En el lugar debe existir una fuente de agua para realizar la mezcla y mantener la limpieza de la planta.
- ✓ La instalación donde se utilizará el biogás debe encontrarse lo más cerca posible de la planta de biogás ($L_{\text{máx}} < 0,95 P_{\text{máx}}$; donde $L_{\text{máx}}$ es la distancia máxima en metros; y $P_{\text{máx}}$, la presión máxima en milímetros de columna de agua).

- ✓ La topografía del terreno debe favorecer en lo posible la utilización del bioabono líquido se realice por gravedad.
- ✓ Se debe evitar el contacto con el manto freático, para prevenir las filtraciones hacia el interior o la contaminación del manto. Como norma, el fondo del biodigestor debe encontrarse a un metro o más del manto freático.

Tomando en cuenta estos aspectos principales para la ubicación del biodigestor, y conociendo sus dimensiones se logró una ubicación acorde para los tres biodigestores diseñados en la residencia universitaria de la Universidad de Pinar del Río. Ver anexo (Figura 24)

Para lograr un buen trazado de la planta, en el área que se utilizará para su construcción, es imprescindible eliminar todo aquello que sea un estorbo, como escombros, hierbas, plantas, raíces, etcétera.

Cuando el terreno se encuentra limpio, se procede al replanteo del biodigestor y el tanque de compensación. Según el volumen del biodigestor que previamente se haya seleccionado y utilizando los valores de la tabla 6.

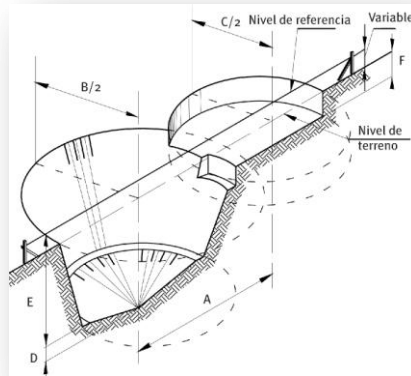
Tabla 6: Dimensiones de biodigestores típicos

Digestores típicos (m ³)	Dimensiones principales de la excavación (m)					
	A	B	C	D	E	F
12	2,9	1,8	1,7	0,45	3,2	1,32
24	3,1	2,2	1,9	0,6	3,5	1,37
42	3,6	2,6	2,1	2,72	4	1,37

Fuente: (Guardado 2007). [19]

Después se marcan en el terreno las distancias indicadas en las figuras 12 y 13 empleando para ello estacas, cuerdas y una manguera para correr niveles.

Figura 12: Excavación para biodigestores típicos del tipo Nicarao, desde 12 hasta 42 m³



Fuente: (Guardado 2007). [19]

Desde que comienza hasta que termina la construcción, todas las medidas verticales se tomarán a partir del nivel de referencia, que se establecerá por encima del nivel del terreno, para su fácil control, entre 50 y 60 cm. Este nivel se marca mediante un cordel durante la construcción para mantener posteriormente los niveles exactos. Ese cordel se sostiene con dos estacas situadas a cada extremo del biodigestor y del tanque de compensación. Durante la construcción, estas estacas tendrán fijadas el nivel de referencia mediante puntillas u otros objetos adecuados. El nivel de referencia se deberá mantener inalterable, ya que cualquier movimiento o desplazamiento llevará a errores en la construcción del biodigestor, a veces de gran significación.

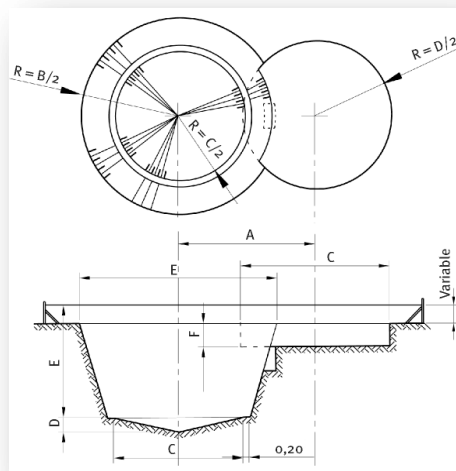


Figura 13: Planta y corte de la excavación para biodigestores típicos del tipo Nicarao, desde 12 hasta 42 m³

Fuente: (Guardado 2007). [19]

2.4.2. Excavación

La excavación puede realizarse de forma manual o mecanizada. Para la seguridad de los constructores se debe dejar cierta inclinación en las paredes, de acuerdo con el tipo de terreno.

La tierra que se extraiga se depositará a más de un metro del borde de la excavación, y el lugar donde se construirá la caja de carga y el desarenador se deberá mantener libre de tierra excavada. Se recomienda, junto con la excavación, abrir también la zanja para la colocación del tubo de carga y el de extracción de lodo.

La excavación debe abrirse a la profundidad exacta para evitar rellenos a la hora de cimentar, por lo que se deberán tomar, cada cierto tiempo, medidas verticales a partir del nivel de referencia.

La excavación debe tener implícita el replanteo de los pasos de la escalera que permite la comunicación entre el digestor y el tanque de compensación, así como la inclinación que finalmente tendrá el fondo. Es importante asegurarse de que el fondo de la excavación esté siempre un metro como mínimo por encima del nivel freático para evitar su contaminación.

Otro aspecto no menos importante es el relacionado con las observaciones del terreno, para definir sus características generales con la correspondiente valoración, que nos permitan hacer las correcciones pertinentes en caso de que el terreno lo exija para garantizar la resistencia e impermeabilización necesarias. Tomando en consideración que la mayoría de estas excavaciones, a pequeña y mediana escalas, se realizan sin previo estudio geológico e hidrogeológico del lugar, es recomendable la presencia del proyectista en el terreno, una vez concluida la excavación y antes de comenzar la fundición del cerramiento y piso del fondo. [19]

2.5. Dimensionamiento del biodigestor

El tamaño del biodigestor está determinado por el tiempo de retención y por volumen diario de biomasa. El volumen diario de biomasa se compone del material de fermentación y del agua de mezcla.

✓ Tiempo de Retención de la Biomasa

Es el lapso durante el cual el material de fermentación permanece en el biodigestor.

Bajo la acción de bacterias mesofílicas se estima que en un reactor normal a 30 °C el tiempo requerido para biodegradar la materia prima alimentada es de 20 días, tiempo que se puede afectar por las variaciones de la temperatura ambiental.

$$TR = 20 \text{ días} \times 1,3$$

El factor 1,3 es un coeficiente que depende de la temperatura, la cual para garantizar un funcionamiento óptimo del biodigestor para cualquier época del año, se ha asumido como 25 °C.

✓ Volumen de digestión de la biomasa

El tamaño del biodigestor está determinado por el tiempo de retención y por la cantidad diaria de sedimento de fermentación. La cantidad de sedimento de fermentación se compone del material de fermentación y del agua de mezcla.

El volumen del digestor se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$V_D = V_{BM} \times TR$$

Donde:

$$V_D = \text{Volumen de digestión de la biomasa (m}^3\text{)}$$

$$V_{BM} = \text{Volumen diario de biomasa.}$$

$$TR = \text{Tiempo de la retención de la biomasa.}$$

✓ **Volumen de almacenamiento de gas**

El tamaño del depósito de gas depende de la producción de gas y de la cantidad de gas que se utilice. La producción de gas depende de la cantidad y de propiedades del material de fermentación, de la temperatura del digestor y del tiempo de retención.

$$V_G = PB \times RB_h$$

Donde:

V_G = Volumen de almacenamiento de gas (m³)

PB = Potencial total de excreta humana

RB_h = Rendimiento de biogás de humanos

✓ **Volumen total del Biodigestor**

Con los dos volúmenes se puede determinar el volumen total del biodigestor.

$$V_{DB} = V_D + V_G$$

Donde:

V_{DB} = Volumen total del biodigestor (m³)

V_D = Volumen de digestión de la biomasa

V_G = Volumen de almacenamiento de gas

✓ **Diámetro y altura útil**

Conociendo el volumen del biodigestor, se debe determinar su diámetro y altura, cumpliéndose la relación siguiente:

$$V_u = \frac{3,14 \times D_u^2}{4} \times H_u \quad ; \quad H_u = \frac{4 \times V_u}{D_u^2 \times 3,14}$$

Donde:

H_u = Altura útil del cilindro, que equivale a la altura del biodigestor (m)

V_u = Volumen útil del cilindro, que equivale al volumen del biodigestor (m³)

D_u = Diámetro útil del cilindro, que equivale al diámetro interno del biodigestor (m)

Nota: el volumen útil es el volumen ocupado por la materia orgánica a ser digerida, exceptuándose el volumen relativo al biogás entonces:

$$V_D = V_u$$

✓ **Altura real de la cámara de digestión**

Después de determinar la altura útil del biodigestor, se debe calcular su altura real, esta se determina por la fórmula siguiente:

$$H_{rcd} = H_u + P + 0,15$$

Donde:

H_{rcd} = Altura real de la cámara de digestión (m)

H_u = Altura útil del cilindro

P = Presión de columna de agua (altura manométrica)

$Holgura = 0.15$ (m)

Nota: en los digestores de tipo hindú la presión está fijada en 0.15 m. Se aconseja diseñar los equipos para que trabajen con esta presión. [13]

✓ **Dimensionamiento de la cámara de carga**

La cámara está compuesta por un tubo derecho que se coloca en forma oblicua, lo que facilita su construcción, ahorra mano de obra y materiales, asegura una entrada libre y facilita la agitación del líquido.

La cámara de carga deberá de situarse por lo menos 30 cm más elevado que el nivel del material dentro de la cámara de digestión. Esta deberá tener dimensiones suficientes para la carga diaria y un piso inclinado en sentido contrario al vertimiento hacia la cámara de digestión para poder retener materiales indeseables en el proceso como madera, piedras, etc.

Estas dimensiones pueden ser determinadas por la fórmula siguiente:

$$V_{CC} = L_{CC} \times C_{CC} \times H_{CC}$$

Donde:

V_{CC} = Volumen de la cámara de carga (m³)

L_{CC} = Largo de la cámara de carga (m)

C_{CC} = Ancho de la cámara de carga (m)

H_{CC} = Altura de la cámara de carga (m). Esta debe ser superior a 1 m.

✓ Volumen de la cámara de descarga

La cámara de descarga es por donde se evacuan los materiales de fermentación. El biogás producido en el biodigestor presiona el líquido fermentado hacia una pileta de salida para un almacenamiento, la pileta de salida también se llama cámara hidráulica o de hidropresión. La cámara debe ir cubierta con una plancha para mejorar las condiciones sanitarias. Las dimensiones son establecidas mediante la siguiente fórmula:

$$V_{cd} = L_{cd} \times C_{cd} \times H_{cd}$$

Donde:

V_{cd} = Volumen de la cámara de descarga (m³)

L_{cd} = Largo de la cámara de descarga (m)

C_{cd} = Ancho de la cámara de descarga (m)

H_{cd} = Altura de la cámara de descarga (m). Esta debe estar debajo del nivel del suelo.

✓ Dimensionamiento del gasómetro

Es muy conveniente usarlo ya que garantiza presiones estables ó constantes de trabajo le confiere al sistema una mayor autonomía en lo referente al almacenamiento de gas a baja presión y el gas no necesita tratamientos especiales; pueden estar contruidos de concreto reforzado, de mampostería, de metal, de fibra de vidrio o de plástico, la forma puede ser circular o cuadrado. El peso de la cubierta flotante del gasómetro mantiene la presión necesaria del gas, presión que varía entre 0,05 - 0,2 m de columna de agua, ésta cubierta se mueve hacia arriba o hacia abajo de acuerdo a la cantidad de gas que reciba del digestor; la forma más conveniente es la circular.

La cubierta está hecha usualmente de láminas de acero de 2 a 3 mm de espesor; para guiar la cubierta flotante en su movimiento vertical se coloca, o un sistema de rodillos y un perfil de V de acero que guía la cubierta, o en su defecto se coloca un tubo en el centro sujeto al fondo; se acostumbra colocar una o más aberturas que distan de 5 a 7 cm del fondo de la cubierta, a través de los cuales el exceso de gas puede escapar cuando el recipiente se aproxime al máximo de su desplazamiento.

Para la construcción del gasómetro debe preverse un volumen mínimo equivalente a una producción de biogás de 12 horas. Las dimensiones que se deben acotar aquí son su diámetro y su volumen, estas se calculan con las siguientes formulas:

✓ Diámetro Inferior del gasómetro

$$D_{gi} = D_i - 0,10 \text{ m}$$

Donde:

D_{gi} = Diámetro inferior del gasómetro (m)

D_i = Diámetro interno del biodigestor (parte superior = $D_u + 0.10m$)

$Holgura$ = 0,10 (m)

Nota: la parte superior del biodigestor debe tener 10 cm de más para formar un muro de apoyo para el gasómetro.

✓ **Diámetro superior del gasómetro**

$$D_{gs} = D_i + 0,10 \text{ m}$$

Donde:

D_{gs} = Diámetro superior del gasómetro

D_i = Diámetro interno del biodigestor (parte superior = $D_u + 0.10 \text{ m}$)

Holgura = 0,10 (m)

✓ **Altura del gasómetro:**

$$V_g = \frac{3,14 \times D_g^2}{4} \times H_g$$

Donde:

V_g = Volumen del gasómetro (m^3). Igual a la producción diaria de biogás V_G .

D_g = Diámetro del gasómetro (m)

H_g = Altura del gasómetro (m). Incógnita a determinar.

Luego de determinarse la altura del gasómetro, se procede a calcular la altura real del mismo mediante la fórmula:

✓ **Altura real del gasómetro**

$$H_{rg} = H_g + P + 0,10 \text{ m}$$

Donde:

H_{rg} = Altura real del gasómetro

H_g = Altura del gasómetro

P = Presión (fijada en 0.15 mca)

Holgura = 0,10 (m)

✓ **Dimensionamiento de la pared divisora**

La pared divisoria divide el cilindro del biodigestor en dos subcámaras de diámetros iguales, para calcular sus dimensiones se utiliza la siguiente ecuación:

$$H_{pd} = H_{rcd} - H_{rg}$$

Donde:

H_{pd} = Altura de la pared divisora.

H_{rcd} = Altura real de la cámara de digestión.

H_{rg} = Altura real del gasómetro.

✓ **Dimensionamiento del caño guía**

La función de este es orientar el movimiento del gasómetro verticalmente. Este puede determinarse por la formula:

$$C_g = 1 + H_{rg} + \frac{H_{rg}}{2}$$

Donde:

C_g = Longitud del caño guía (m)

1 = Cantidad de caños que deberán ser colocados en la pared divisoria

H_{rg} = Altura real del gasómetro que corresponde con la distancia de la pared divisoria a la superficie.

$\frac{H_{rg}}{2}$ = Parámetro que busca mantener la estabilidad del gasómetro cuando este se encuentre a su máxima capacidad.

✓ **Producción de bioabono por día**

Para el este cálculo se tomó el 20 % de sólidos totales. Continuando se determina la cantidad de bioabono para el volumen de biogás diario, con la fórmula siguiente:

$$B_a = BD - BD \times \frac{ST}{100}$$

Donde:

B_a = Cantidad de bioabono generado por día

BD = Biomasa disponible

ST = Sólidos totales

3. CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Capítulo III se presentará los resultados de los cálculos de producción de excreta humana en la residencia universitaria, su diseño, dimensionamiento, materiales y costo del biodigestor, a partir de la metodología mostrada en el Capítulo II.

3.1. Producción de excreta humana por día

Utilizando los datos de la tabla 4 de la producción de excreta humana diaria (0,40 kg), procedemos al cálculo de la producción de excreta humana generada por cada edificio de la residencia universitaria.

Producción de cantidad de excreta humana por día en el edificio 1 (P_{e1})

$$P_{e1} = N_h \times C_{eh}$$

$$P_{e1} = 252 \times 0,40 \text{ kg}$$

$$P_{e1} = 100,8 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Producción de cantidad de excreta humana por día en el edificio 2 (P_{e2})

$$P_{e2} = N_h \times C_{eh}$$

$$P_{e2} = 239 \times 0,40 \text{ kg}$$

$$P_{e2} = 95,6 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Producción de cantidad de excreta humana por día en el edificio 3 (P_{e3})

$$P_{e3} = N_h \times C_{eh}$$

$$P_{e3} = 259 \times 0,40 \text{ kg}$$

$$P_{e3} = 103,6 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Producción de cantidad de excreta humana por día en el edificio 4 (P_{e4})

$$P_{e4} = N_h \times C_{eh}$$

$$P_{e4} = 126 \times 0,40 \text{ kg}$$

$$P_{e4} = 50,4 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Producción de cantidad de excreta humana por día en el edificio 5A (P_{e5A})

$$P_{e5A} = N_h \times C_{eh}$$

$$P_{e5A} = 144 \times 0,40 \text{ kg}$$

$$P_{e5A} = 57,6 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Producción de cantidad de excreta humana por día en el edificio 5B (P_{e5B})

$$P_{e5B} = N_h \times C_{eh}$$

$$P_{e5B} = 141 \times 0,40 \text{ kg}$$

$$P_{e5B} = 56,4 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Producción de cantidad de excreta humana por día en el edificio 6A (P_{e6A})

$$P_{e6A} = N_h \times C_{eh}$$

$$P_{e6A} = 70 \times 0,40 \text{ kg}$$

$$P_{e6A} = 28 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Producción de cantidad de excreta humana por día en el edificio 6B (P_{e6B})

$$P_{e6B} = N_h \times C_{eh}$$

$$P_{e6B} = 119 \times 0,40 \text{ kg}$$

$$P_{e6B} = 47,6 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Producción de cantidad de excreta humana por día en el comedor universitario (P_{eC})

$$P_{eC} = N_h \times C_{eh}$$

$$P_{eC} = 37 \times 0,40 \text{ kg}$$

$$P_{eC} = 14,8 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Producción de cantidad de excreta humana por día en el edificio de trabajadores (P_{eT})

$$P_{eT} = N_h \times C_{eh}$$

$$P_{eT} = 56 \times 0,40 \text{ kg}$$

$$P_{eT} = 22,4 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Producción de cantidad de excreta humana por día en la Residencia Universitaria (PT)

$$PT = (P_{e1} + P_{e2} + P_{e3} + P_{e4} + P_{e5A} + P_{e5B} + P_{e6A} + P_{e6B} + P_{eC} + P_{eT}) \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$PT = (100,8 + 95,6 + 103,6 + 50,4 + 57,6 + 56,4 + 28 + 47,6 + 14,8 + 22,4) \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$PT = 577,2 \left(\frac{\text{kg}}{\text{día}} \right)$$

En la tabla 7 se muestra en resumen de la producción de la excreta humana por día en la residencia estudiantil de la Universidad de Pinar del Río.

Tabla 7: Producción de excreta humana por día en la residencia universitaria

Edificio	Número de habitantes	Cantidad de excreta humana por día (kg)	Excreta humana por día (kg)
1	252	0,40	100,8
2	239	0,40	95,6
3	259	0,40	103,6
4	126	0,40	50,4
5A	144	0,40	57,6
5B	141	0,40	56,4
6A	70	0,40	28,0
6B	119	0,40	47,6
C	37	0,40	14,8
T	56	0,40	22,4
Total Habitantes	1443	0,40	577,2

* C = Comedor
* T = Trabajadores

3.2.Potencial de Biomasa

$$PB = PT$$

$$PB = 577,2 \left(\frac{kg}{día} \right)$$

✓ Agua necesaria

$$A_n = 3 \times PB \left(\frac{kg \text{ de agua}}{kg \text{ de excreta}} \right)$$

$$A_n = 3 \left(\frac{kg \text{ de agua}}{kg \text{ de excreta}} \right) \times 577,2 \left(\frac{kg \text{ de excreta}}{día} \right)$$

$$A_n = 1731,6 \left(\frac{kg \text{ de agua}}{día} \right)$$

✓ Biomasa disponible

$$BD = PB + A_n$$

$$BD = 577,2 \left(\frac{Kg \text{ de excreta}}{día} \right) + 1731,6 \left(\frac{Kg \text{ de agua}}{día} \right)$$

$$BD = 2308,8 \left(\frac{Kg \text{ de biomasa}}{día} \right)$$

Para formar la biomasa que se pretende digerir es necesario añadir 3 kg de agua por cada kg de excreta, algunos estudios recomiendan la relación agua excreta en dependencia del animal del cual provenga, para garantizar un desarrollo adecuado de la anaerobiosis metanogénica, en nuestro caso se tomó 3 kg de agua por cada kg de excreta, para garantizar las condiciones críticas de operación, con ello se obtuvo que la biomasa disponible es de 2308,8 kg de biomasa/día.

✓ **Volumen diario de biomasa**

$$V_{BM} = \frac{BD}{1000}$$

$$V_{BM} = \frac{2308,8}{1000} \left(\frac{m^3}{día} \right)$$

$$V_{BM} = 2,308 \left(\frac{m^3}{día} \right)$$

Es necesario transformar las unidades de la biomasa disponible en $\left(\frac{m^3}{día} \right)$, debido a que el volumen del biodigestor está dado en (m^3) .

3.3. Diseño del Biodigestor

3.3.1. Dimensionamiento del Biodigestor

✓ **Tiempo de Retención de la Biomasa**

$$TR = 20 \text{ días} \times 1,3$$

$$TR = 26 \text{ días}$$

✓ **Volumen de digestión de la Biomasa**

$$V_D = V_{BM} \times TR$$

$$V_D = 2,308 \left(\frac{m^3}{día} \right) \times 26 \text{ (día)}$$

$$V_D = 60 \text{ m}^3$$

✓ **Volumen de almacenamiento de gas**

$$V_G = PB \times RB_h$$

$$V_G = 577,2 \text{ kg} \times 0,07 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_G = 40,4 \approx 40 \text{ m}^3$$

✓ **Volumen total del Biodigestor**

$$V_{DB} = V_D + V_G$$

$$V_{DB} = (60 + 40) \text{ m}^3$$

$$V_{DB} = 100 \text{ m}^3$$

Después de los cálculos realizados el volumen total del biodigestor es 100 m³, debido a su tamaño se realizará el diseño de 3 biodigestores, según la propuesta de Guardado 2007, realizaremos 2 biodigestores de 42 m³ y 1 biodigestor de 12 m³, a partir de la cual tomamos las medidas para el diseño del biodigestor. (Ver tabla 6)

✓ **Diámetro y altura útil**

Sabiendo el volumen del biodigestor, se debe determinar su diámetro y altura, cumpliéndose la relación siguiente:

$$0,66 \leq \frac{D_u}{H_u} \leq 1$$

El volumen útil es el volumen ocupado por la materia orgánica a ser digerida, exceptuándose el volumen relativo al biogás entonces: $V_D = V_u$

Para obtener estos valores se utiliza la fórmula de volumen de un cilindro:

➤ **Para los dos biodigestores de 42 m³**

$$V_u = \frac{3,14 \times D_u^2}{4} \times H_u \quad ; \quad H_u = \frac{4 \times V_u}{D_u^2 \times 3,14}$$

• **Asumiendo D_u de 3m**

$$H_u = \frac{4 \times 25.2 \text{ m}^3}{(3\text{m})^2 \times 3,14}$$

$$H_u = 3,57 \text{ m}$$

Comprobamos en la relación el diámetro $D_u = 3 \text{ m}$ para los dos biodigestores:

$$0,66 \leq \frac{3\text{m}}{3,57 \text{ m}} \leq 1$$

$$0,66 \leq 0,84 \leq 1$$

➤ **Para el biodigestor de 12m^3**

$$V_u = \frac{3,14 \times D_u^2}{4} \times H_u \quad ; \quad H_u = \frac{4 \times V_u}{D_u^2 \times 3,14}$$

• **Asumiendo D_u de $2,2 \text{ m}$**

$$H_u = \frac{4 \times 9,6 \text{ m}^3}{(2,2 \text{ m})^2 \times 3,14}$$

$$H_u = 2,53 \text{ m}$$

Comprobamos en la relación el diámetro $D_u = 2,2 \text{ m}$ para el biodigestor:

$$0,66 \leq \frac{2,2 \text{ m}}{2,53 \text{ m}} \leq 1$$

$$0,66 \leq 0,87 \leq 1$$

✓ **Altura real de la cámara de digestión**

➤ **Para los dos biodigestores de 42 m^3**

$$H_{\text{rcd}} = H_u + P + 0,15$$

$$H_{\text{rcd}} = 3,57 \text{ m} + 0,15 \text{ m} + 0,15$$

$$H_{\text{rcd}} = 3,87 \text{ m}$$

➤ **Para el biodigestor de 12 m^3**

$$H_{\text{rcd}} = H_u + P + 0,15$$

$$H_{\text{rcd}} = 2,53 \text{ m} + 0,15 \text{ m} + 0,15$$

$$H_{\text{rcd}} = 2,83 \text{ m}$$

En los digestores de tipo hindú la presión está fijada en 0,15 m. Se aconseja diseñar los equipos para que trabajen con esta presión.

A continuación se muestra en las figuras 14 y 15 las diferentes vistas de los biodigestores de 42 m³ y 12 m³ respectivamente.



Figura 14: Dimensiones de los dos biodigestores de 42 m³

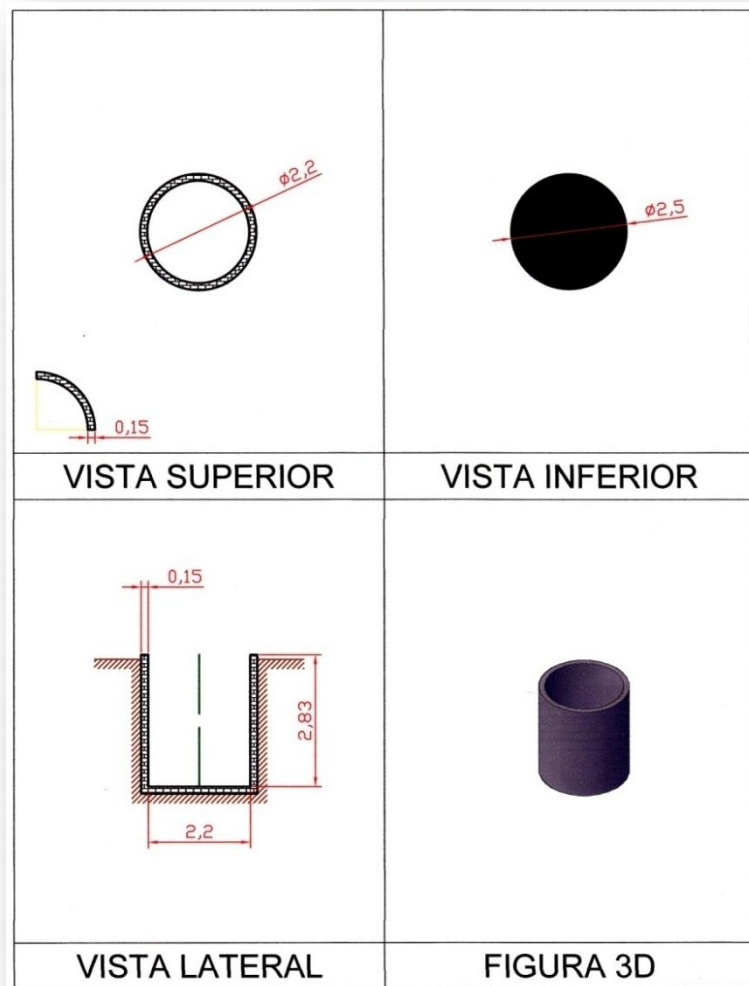


Figura 15: Dimensiones del biodigestor de 12 m^3

✓ **Dimensionamiento de la cámara de carga**

Para las dimensiones de la cámara de carga lo principal que se debe tomar en cuenta es el volumen diario que en este caso es $V_{BM} = 2,308 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$, y la altura (H) debe ser superior a 1 m.

➤ **Para el biodigestor de 42 m^3**

$$V_{CC} = L_{CC} \times C_{CC} \times H_{CC}$$

$$V_{CC} = 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1,20 \text{ m}$$

$$V_{CC} = 1,20 \text{ m}^3$$

➤ Para el biodigestor de 12 m³

$$V_{CC} = L_{CC} \times C_{CC} \times H_{CC}$$

$$V_{CC} = 0,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 1,20 \text{ m}$$

$$V_{CC} = 0,77 \text{ m}^3$$

A continuación se muestra en las figuras 16 y 17 las diferentes vistas de la cámara de carga de los biodigestores diseñados:

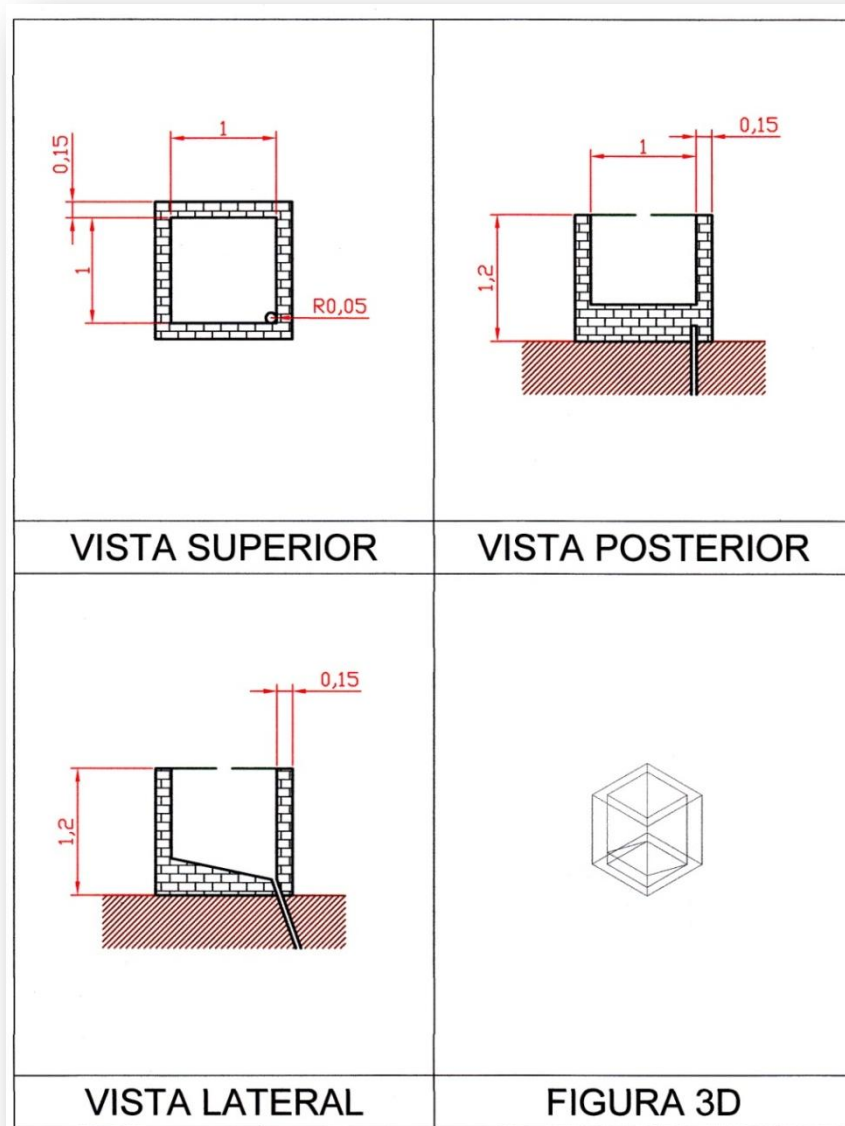


Figura 16: Dimensiones de la cámara de carga de los dos biodigestores de 42 m³

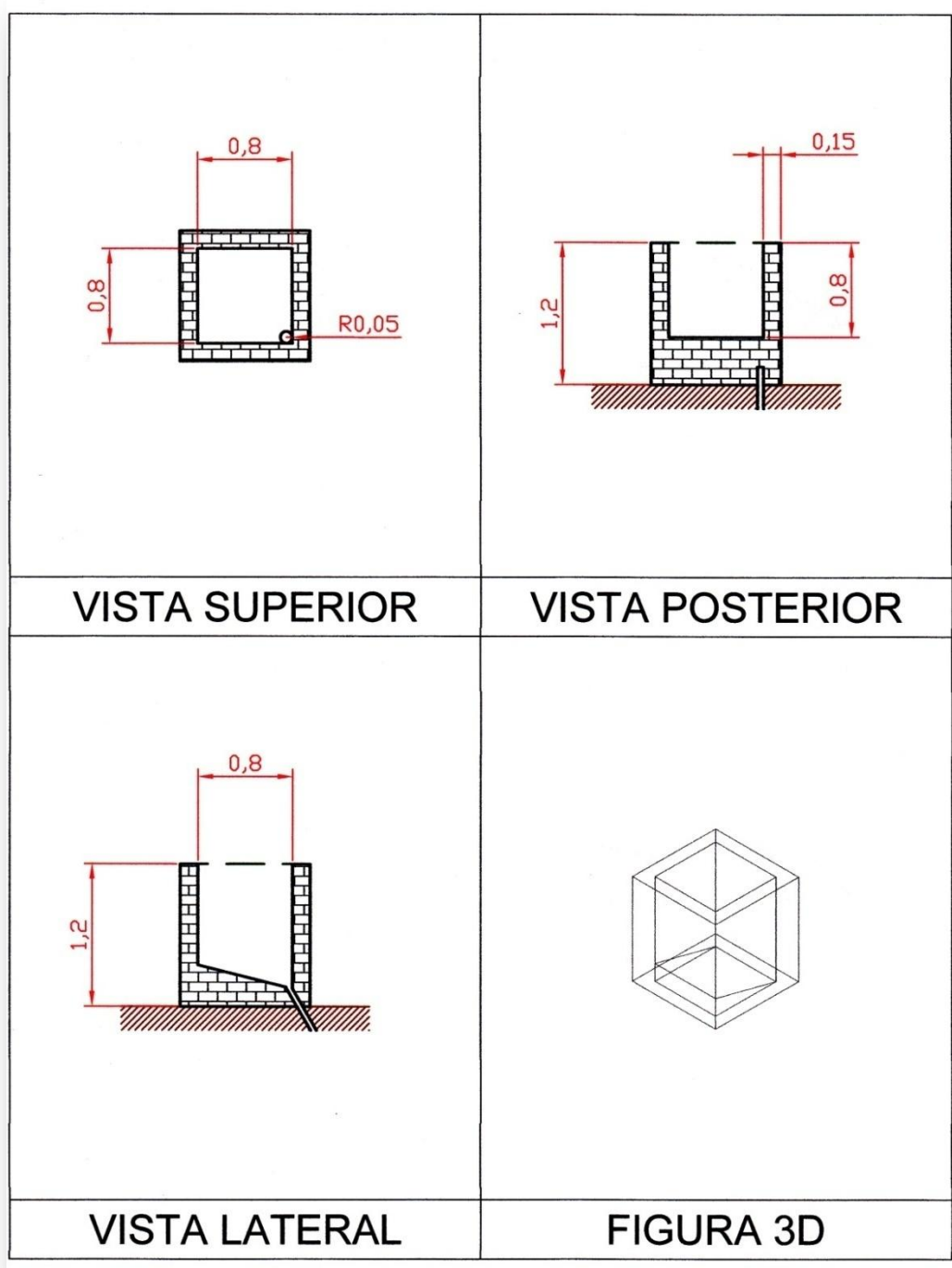


Figura 16: Dimensiones de la cámara de carga del biodigestor de 12 m^3

✓ **Volumen de la cámara de descarga**

A diferencia de la cámara de carga, la de descarga debe estar desde el nivel del suelo $0,50 \text{ m}$ hacia abajo, la fórmula a utilizar es la misma que la de la cámara de carga.

➤ Para los biodigestores de 42 m³

$$V_{cd} = L_{cd} \times C_{cd} \times H_{cd}$$

$$V_{cd} = 1,4 \text{ m} \times 1,4 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$$

$$V_{cd} = 0,98 \text{ m}^3$$

Para la recolección del efluente en estos biodigestores está diseñado para descargar una vez al día.

En la Figura 17, se muestra las diferentes vistas de la cámara de descarga de los dos biodigestores de 42 m³

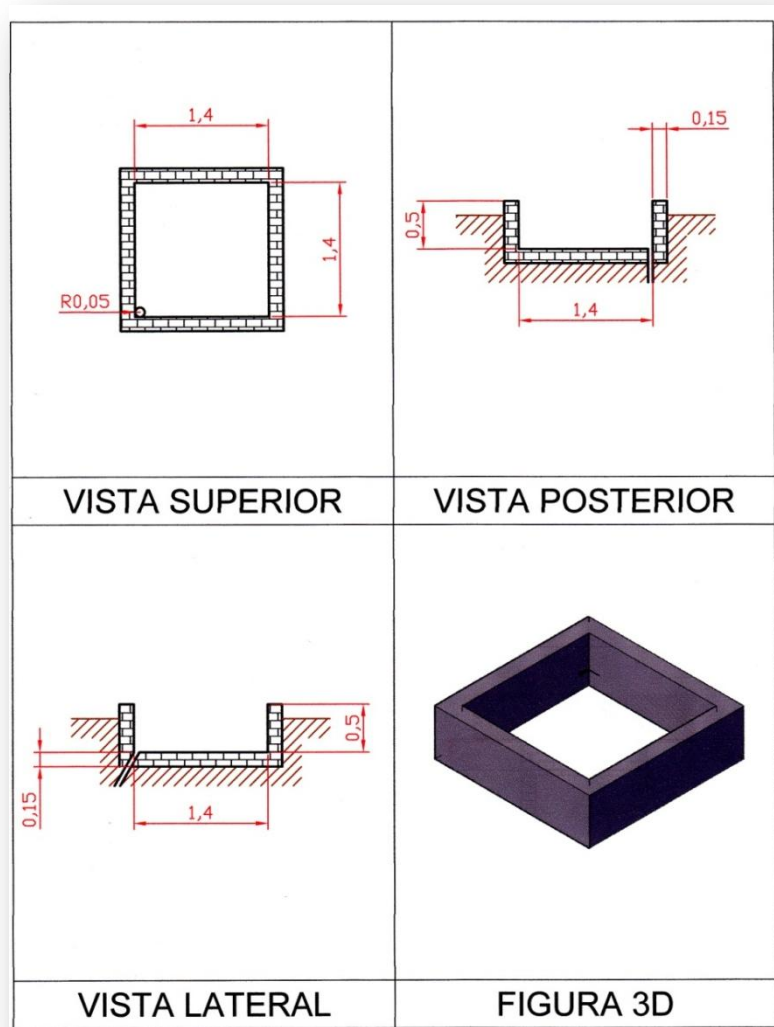


Figura 17: Dimensiones de la cámara de descarga de los dos biodigestores de 42m³

➤ **Para el biodigestor de 12 m³**

$$V_{cd} = L_{cd} \times C_{cd} \times H_{cd}$$

$$V_{cd} = 0,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$$

$$V_{cd} = 0,32 \text{ m}^3$$

Para la recolección del efluente en éste biodigestor está diseñado para descargar una vez al día.

A continuación en la figura 18, se muestra las dimensiones de la cámara de descarga del biodigestor de 12 m³

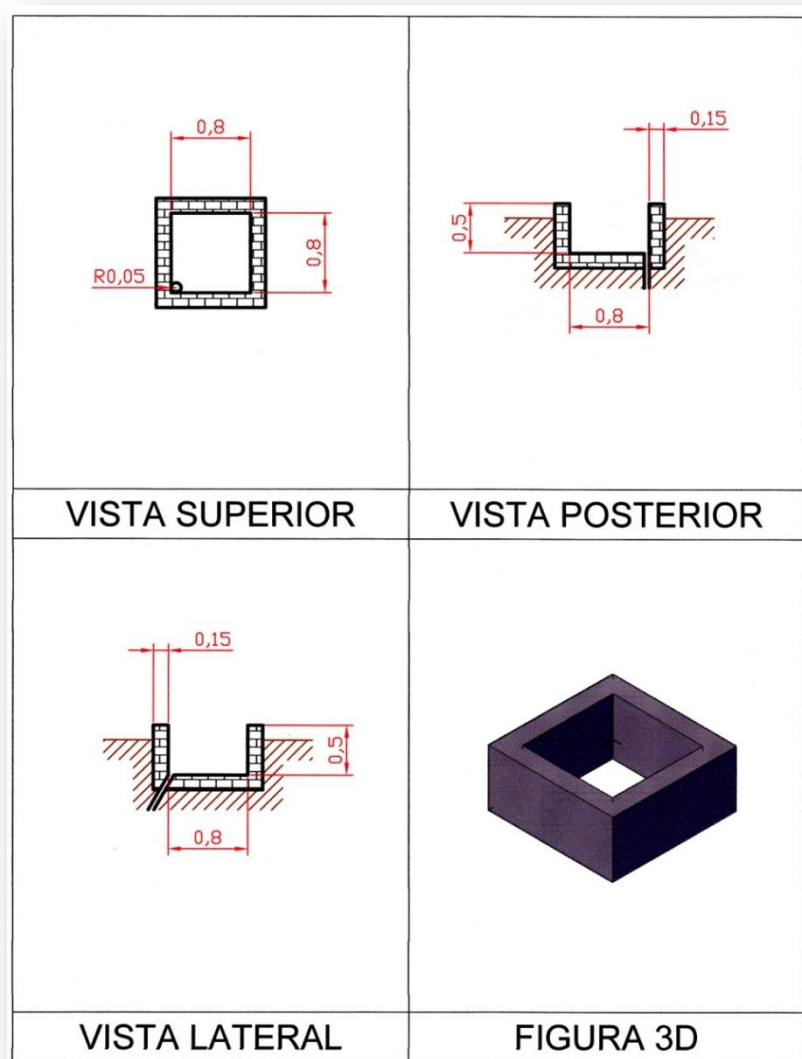


Figura 18: Dimensiones de la cámara de descarga del biodigestor de 12 m³

✓ **Dimensionamiento del gasómetro**

En el dimensionamiento del gasómetro se debe tener en cuenta como volumen mínimo la producción de biogás de 12 horas, el cual es 40 m^3 .

➤ **Diámetro inferior de los dos biodigestores de 42 m^3**

$$D_{gi_1} = D_i - 0,10 \text{ m}$$

$$D_{gi_1} = 3 \text{ m} - 0,10 \text{ m}$$

$$D_{gi_1} = 2,9 \text{ m}$$

➤ **Diámetro inferior del biodigestor de 12 m^3**

$$D_{gi_2} = D_i - 0,10 \text{ m}$$

$$D_{gi_2} = 2,2 \text{ m} - 0,10 \text{ m}$$

$$D_{gi_2} = 2,1 \text{ m}$$

El diámetro interno del biodigestor ($D_i = D_u$) de la parte superior es igual a ($D_u + 0,10 \text{ m}$).

➤ **Diámetro superior de los dos biodigestores de 42 m^3**

$$D_{gs} = D_i + 0,10 \text{ m}$$

$$D_{gs} = 3 \text{ m} + 0,10 \text{ m}$$

$$D_{gs} = 3,1 \text{ m}$$

➤ **Diámetro superior del biodigestor de 12 m^3**

$$D_{gs} = D_i + 0,10 \text{ m}$$

$$D_{gs} = 2,2 \text{ m} + 0,10 \text{ m}$$

$$D_{gs} = 2,3 \text{ m}$$

La parte superior del biodigestor debe tener 10 cm de más para formar un muro de apoyo para el gasómetro.

➤ **Altura del gasómetro para los dos biodigestores de 42 m³**

$$V_g = \frac{3,14 \times D_g^2}{4} \times H_g \quad ; \quad H_g = \frac{4V_g}{3,14 \times D^2}$$

$$H_g = \frac{4 \times (16,8 \text{ m}^3)}{3,14 \times (3,1 \text{ m})^2}$$

$$H_g = 2,23 \text{ m}$$

➤ **Altura del gasómetro para el biodigestor de 12 m³**

$$V_g = \frac{3,14 \times D_g^2}{4} \times H_g \quad ; \quad H_g = \frac{4V_g}{3,14 \times D^2}$$

$$H_g = \frac{4 \times (4,8 \text{ m}^3)}{3,14 \times (2,3 \text{ m})^2}$$

$$H_g = 1,16 \text{ m}$$

En seguida de establecerse la altura del gasómetro, se procede a calcular la altura real del mismo.

➤ **Altura real del gasómetro para los dos biodigestores de 42 m³**

$$H_{rg} = H_g + P + 0,10$$

$$H_{rg} = 2,23 \text{ m} + 0,15 \text{ m} + 0,10$$

$$H_{rg} = 2,48 \text{ m}$$

➤ **Altura real del gasómetro para el biodigestor de 12 m³**

$$H_{rg} = H_g + P + 0,10$$

$$H_{rg} = 1,16 \text{ m} + 0,15 \text{ m} + 0,10$$

$$H_{rg} = 1,41 \text{ m}$$

La presión establecida es $P = 0.15$ mca y la holgura es 0.10.

A continuación se muestra en las figuras 19 y 20 las vistas de los gasómetros diseñados:

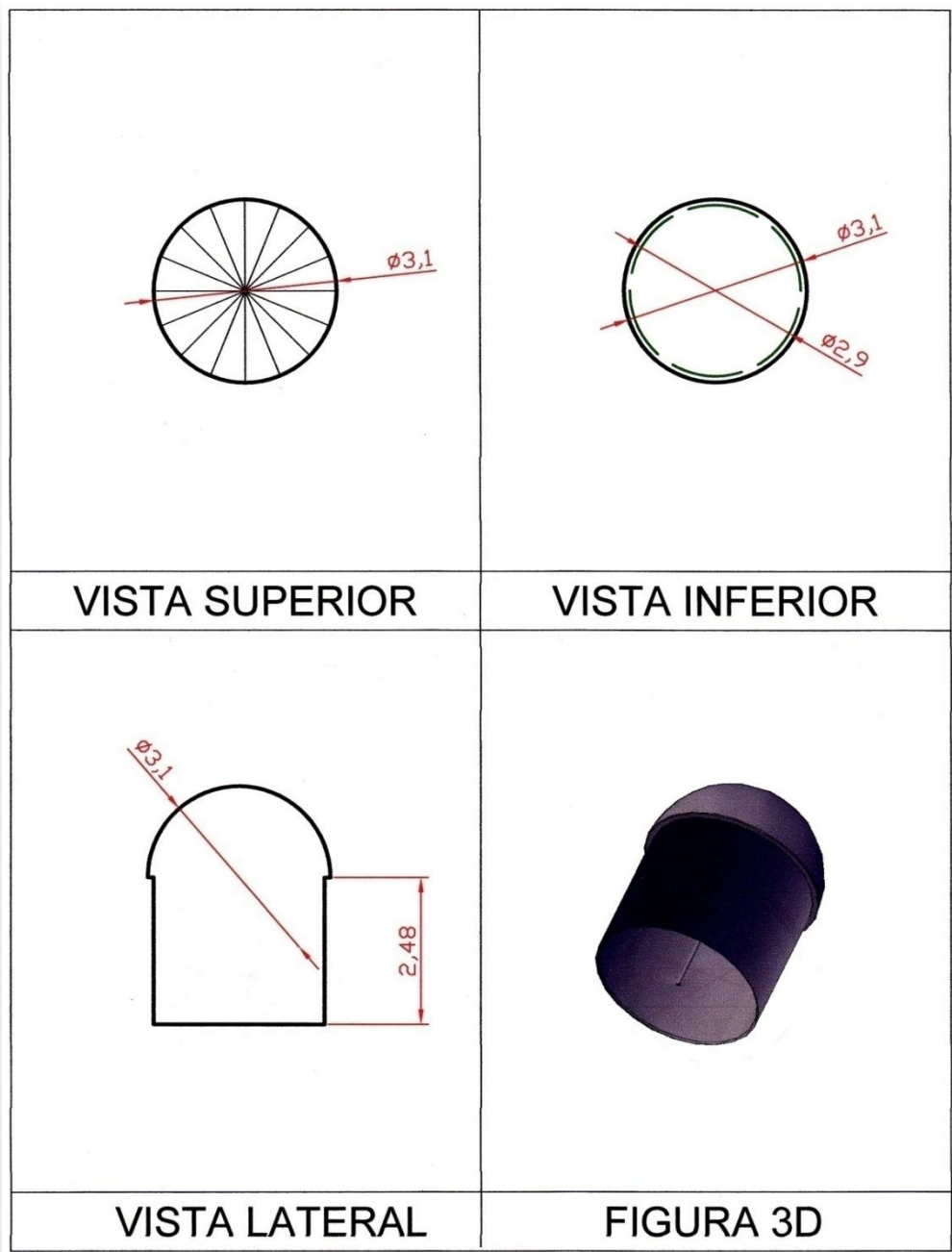


Figura 19: Dimensiones del gasómetro de los dos biodigestores de 42 m^3

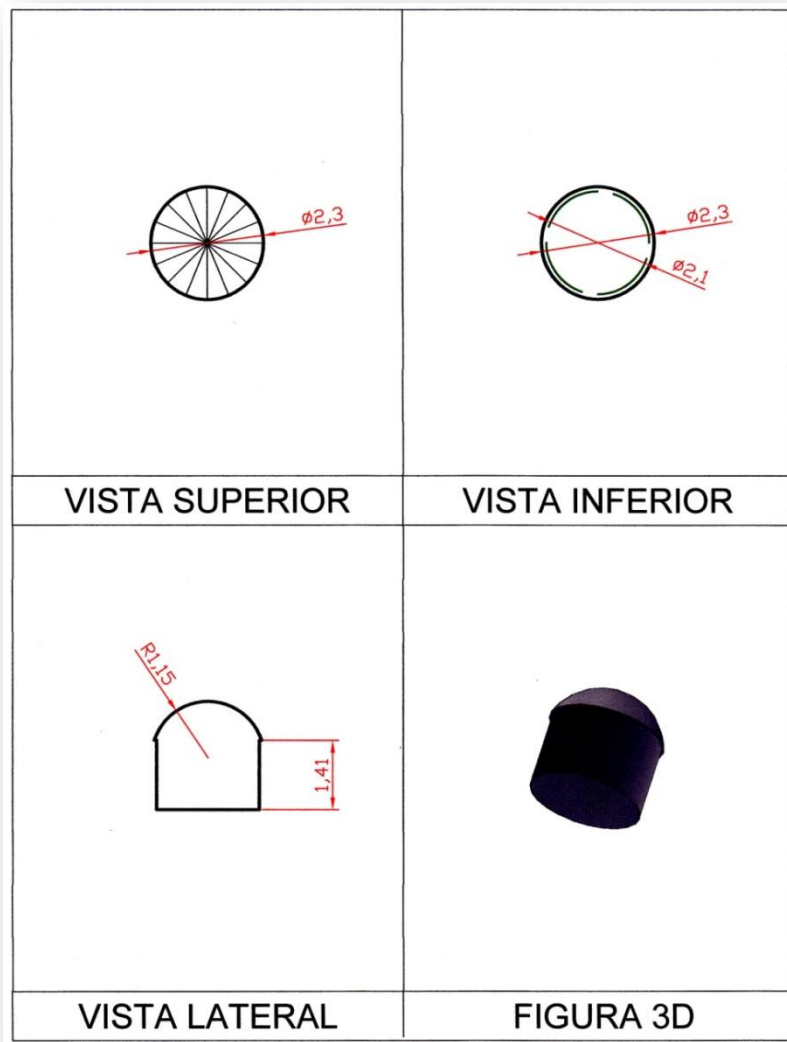


Figura 20: Dimensiones del gasómetro para el biodigestor de 12 m³

✓ **Dimensionamiento de la pared divisora**

La pared divisora permite que al ingresar la excreta pueda separarse de la que ya se encuentra almacenada.

➤ **Dimensión de la pared divisora de los dos biodigestores de 42 m³**

$$H_{pd} = H_{rcd} - H_{rg}$$

$$H_{pd} = 3,87 \text{ m} - 2,48 \text{ m}$$

$$H_{pd} = 1,39 \text{ m}$$

➤ **Dimensión de la pared divisora del biodigestor de 12 m³**

$$H_{pd} = H_{rcd} - H_{rg}$$

$$H_{pd} = 2,83 \text{ m} - 1,41 \text{ m}$$

$$H_{pd} = 1,42 \text{ m}$$

✓ **Dimensionamiento del caño guía**

➤ **Dimensión para los dos biodigestores de 42 m³**

$$C_g = 1 + H_{rg} + \frac{H_{rg}}{2}$$

$$C_g = 1 + 2,48 \text{ m} + \frac{2,48 \text{ m}}{2}$$

$$C_g = 4,72 \text{ m}$$

➤ **Dimensión para el biodigestor de 12 m³**

$$C_g = 1 + H_{rg} + \frac{H_{rg}}{2}$$

$$C_g = 1 + 1,41 \text{ m} + \frac{1,41 \text{ m}}{2}$$

$$C_g = 3,12 \text{ m}$$

✓ **Producción de bioabono por día**

Para el este cálculo se tomó el 20 % de sólidos totales. Continuando se determina la cantidad de bioabono para el volumen de biogás diario, con la fórmula siguiente:

$$B_a = BD - BD \times \frac{ST}{100}$$

$$B_a = 2308,8 \frac{\text{kg}}{\text{día}} - 2308,8 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{20}{100}$$

$$B_a = 1874,04 \left(\frac{\text{kg}}{\text{día}} \right)$$



ANÁLISIS ECONÓMICO

Se debe tener en cuenta que para montar un biodigestor, los costos depende básicamente de la tecnología que se use en él, así como también de los requerimientos de producción, teniendo presente que la implementación de un biodigestor no constituye un gasto, sino una inversión que traerá a mediano y largo plazo grandes beneficios económicos y ambientales para la Universidad de Pinar del Río.

Los costos para la construcción del biodigestor se tomaron los datos obtenidos por González 2005. Los materiales son de fácil accesibilidad y sus costos se muestran en la tabla 8, así como los costos de la mano de obra calificada y los obreros se detallan en la tabla 9, lo que representa una fácil construcción de este tipo de biodigestor, teniendo una referencia de diseño de este tipo de biodigestor y así cumpliendo los objetivos planteados.

Tabla 8: Costos de materiales de construcción

Costo de Materiales					
Material	Costos por unidad		Cantidad necesaria	Costo total	
	MN	CUC		MN	CUC
Barra de acero corrugado 3/8"	2,25	–	11 tira (9m)	24,75	–
Ladrillo (25x12x6,5)	0,62	–	6105 ladrillos	3785,1	–
Arena	12,11	–	21m ³	254,31	–
Cemento	3,88	3,91	158 bolsas	613,04	617,78
Pintura Anticorrosiva	1,37	2,42	21 litros	28,77	50,82
Tubo galvanizado 2"	3,51	5,44	11m	38,61	59,84
Tubo galvanizado 2½"	3,68	5,9	11m	40,48	64,9
Tubo de barro de 6"	8,87	–	27 tubos	239,49	–
Plancha de acero (2mx1mx3mm)	–	14	15 planchas	–	210
TOTAL				5024,55	1003,34

Fuente:(Urbáez, 2007). [34]

Tabla 9: Costo de mano de obra

Costo de Mano de Obra				
Operación	Cantidad y tipo de obrero	Labor	Cantidad de horas	Salario MN (\$)
Construcción	6 Albañiles	Paredes de las cámaras	320	\$ 2.476,80
	3 Ayudantes	Preparación del mortero	320	\$ 1.238,40
	3 Soldadores	Campana y cruceta	136	\$ 526,32
	8 Obreros finca	Pozo y pintura	160	\$ 1.651,20
Mantenimiento	8 Obreros	Limpieza y pintura	8 horas 6 veces al año	\$ 495,36
Recolección del efluente y almacenamiento	11 Obreros	Recolección del efluente y almacenamiento	4 horas/día todo el año	\$ 2.589,67
Utilización del gas	3 Torneros	Adaptación de equipos	32	\$ 247,68
TOTAL:				\$ 9.225,43

Fuente: (Urbáez, 2007). [34]



IMPACTO AMBIENTAL

Una planta de biogás permite reducir el impacto ambiental que provocan los residuos orgánicos en el medio ambiente. Se reducen las emisiones a la atmósfera (gases de efecto invernadero), se minimizan considerablemente los olores y se mejora el valor final de los residuos, pudiendo estos ser utilizados como bioabono. [36]

Se debe considerar también que dado el origen diverso, pueden aparecer en los gases generados compuestos químicos contaminantes. Un análisis detallado de las materias primas y de los gases emitidos puede aconsejar que se utilicen filtros correctores o combustiones a altas temperaturas como medidas correctoras para evitar la contaminación de la atmósfera o la producción de olores.

El resto de los factores ambientales, dada la posibilidad de variar la instalación de las plantas, a continuación se presenta las siguientes ventajas:

- ✓ Disminuye la erosión de suelos.
- ✓ Mejora el equilibrio ecológico mejora de la salud pública.
- ✓ Control de insectos y vectores.
- ✓ Disminuye la contaminación por la presencia de heces fecales.
- ✓ Contribuye al desarrollo sustentable.
- ✓ Ayuda a reducir el impacto de la crisis energética.
- ✓ Higienización y salud: control de parasitismo
- ✓ Durante el proceso de obtención del biogás queda prácticamente todo el nitrógeno que se utiliza: fertilización de suelos



CONCLUSIONES

Una vez realizada esta investigación, se arribaron a las siguientes conclusiones:

- ✓ Los datos obtenidos en la Residencia Universitaria de la Universidad de Pinar del Río, permitieron determinar que existe un potencial de excreta humana para diseñar una batería de biodigestores con una capacidad de 100 m³.
- ✓ Las dimensiones obtenidas de los dos biodigestores de 42 m³ son: Diámetro 3m y una altura de 3,87 m. Para el biodigestores de 12 m³ sus dimensiones principales son: Diámetro 2,2 m y una altura de 2,83 m.
- ✓ Al aprovechar la excreta generada por la batería de biodigestores diseñado se generarían 40 m³ de biogás por día.
- ✓ Se garantizará en el organopónico próximo el empleo del bioabono para las labores agrícolas, después de construido el biodigestor.



RECOMENDACIONES

- ✓ Llevar a cabo la construcción del biodigestor para suplantar el uso de combustibles fósiles en la cocción de alimentos.
- ✓ Para llevar a cabo el aprovechamiento de la excreta humana en la Residencia de la Universidad de Pinar del Río, es necesario adecuar el sistema de colecta de residuales presente en la misma, para que pueda ser aprovechado en el biodigestor seleccionado.





BIBLIOGRAFÍA

- [1] Manejo de excretas y biodigestores. Disponible en: http://www20061127162154_Manejodeexcretasybiodigestores.pdf
- [2] Análisis de biodigestores. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo04.htm>
- [3] Diseño y evaluación de un biodigestor para obtener gas metano. Disponible en: [www.energia.inf.cu/Diseñoylevaluación de un biodigestor para obtener gas metano.pdf](http://www.energia.inf.cu/Diseñoylevaluación%20de%20un%20biodigestor%20para%20obtener%20gas%20metano.pdf)
- [4] Fuentes renovables de energía en Cuba. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia40/HTML/articulo02.htm>
- [5] Extiende Cuba empleo de biogás como recurso energético. Disponible en: http://www.spanish.xinhuanet.com/spanish/2009-06/20/content_895877.htm
- [6] Fuentes de Energía Renovables Disponible en: http://www.ujaen.es/investiga/solar/04proyectos/01divulgacion/Estrategia_solar/www/Alternativas.htm
- [7] Proyecciones del biogás. Disponible en: http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/key_messages_es.pdf revisar
- [8] Biomasa. Disponible en: http://www.invenia.es/inveniatags:energia_biomasa
- [9] Uso de la Biomasa Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Biomasa>
- [10] Biomasa: alternativa sustentable para la producción de Biogás. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos82/biodigestores-campana/biodigestores-campana.shtml>
- [11] Manuales sobre energía renovable. Disponible en: Biomasa/ Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed.-SanJosé,C.R.BiomassUsersNetwork (BUN-CA),2002.42p.il.;28x22 cm.
- [12] Biomasa: Fuente alterna de energía Ing. Fabio Aldana. Disponible en: www.cepis.org.pe/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf

- [13] El Biogás. Disponible en:
http://www.naturalenergy.es/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=59
- [14] Proyecto Biodigestor Disponible en:
www.pro-eco.org.ar/archivos/Proyecto%20biodigestor.pdf
- [15] Producción de Biogás. Disponible en:
www.iae.org.ar/santafe/informe_energia.pdf
- [16] Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Disponible en:
<http://www.utafoundation.org/publications/botero&preston.pdf>
- [17] Fundamentos básicos para diseño de biodigestores rurales. Disponible en:
<http://www.scribd.com/.../1-fundamentos-basicos-para-diseno-biodigestores-rurales>
- [18] Beneficios del Biogás. Disponible en: Facultad de Agronomía y Forestal (biogás)
- [19] Guardado. J. 2007. Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas. CUBASOLAR. Cuba. La Habana. (p70)
- [20] Biodigestor Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Biodigestor>
- [21] Manejo de excretas y biodigestores. Disponible en:
http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/20061127162154_Manejo%20de%20excretas%20y%20biodigestores.pdf
- [22] Esquema de un Biodigestor. Disponible en:
<http://yollegoafindemes.carrefour.es/images/2009/05/biodigestor.JPG>
- [23] Digestión anaeróbica. Disponible en:
<http://www.gruponovaenergia.com/biogas/digestion-anaerobia>
- [24] Qué es un biodigestor. Disponible en:
http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/que_es_un_biodigestor.html
- [25] Tipos de biodigestor. Disponible en: <http://wapedia.mobi/es/Biodigestor>
- [26] Qué es un Biodigestor. Disponible en:
www.aacporcinos.com.ar/.../que_es_un_biodigestor.html
- [27] Ficha Técnica Biodigestores. Disponible en:
<http://www.itdg.org.pe/fichastecnicas/pdf/FichaTecnica8-Biodigestores.pdf>



- [28] Biodigestor total. Disponible en: www.iip.co.cu/BTP/BTP5%20BIODIGESTOR.pdf
- [29] Partes de un biodigestor tipo tubular. Disponible en: http://3.bp.blogspot.com/_g2j1GqVw-4Q/SwQT_-S1sGI/AAAAAAAAAUE/ytAtI7HvB6A/s1600/d.jpg
- [30] Estación depuradora de aguas residuales. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Estaci%C3%B3n_depuradora_de_aguas_residuales
- [31] Mapa de Cuba y carreteras. Disponible en: [http://www.bedincuba.com/cuba_mapa_carreteras_road_map/cuba_mapa_carreteras_map_road_pinar_del_rio_\(2\)_3.jpg](http://www.bedincuba.com/cuba_mapa_carreteras_road_map/cuba_mapa_carreteras_map_road_pinar_del_rio_(2)_3.jpg)
- [32] Carballo, L.; Arteaga, Y.; Márquez, F. 2006. Biogás una alternativa económica y ecológica. Pinar del Río. Cuba
- [33] Tipos de Biodigestores. Disponible en: <http://ricardo.bizhat.com/rmr-prigeds/biodigestores-biogas.htm>
- [34] Urbáez, C. 2007. Trabajo de diploma. “Alternativa energética con enfoque de género en la Comunidad de Canalete, San Andrés, Pinar del Río”. Facultad de Geología y Mecánica. Pinar del Río. Cuba.
- [35] La metodología de cálculo para el dimensionamiento del biodigestor que se utilizará es la propuesta por la compañía brasileña CEMIG tomado del folleto titulado “Instalación y Dimensionamiento de un Biodigestor Hindú”.
- [36] Impacto ambiental. Disponible en: <http://www.ecobiogas.es>

ANEXOS

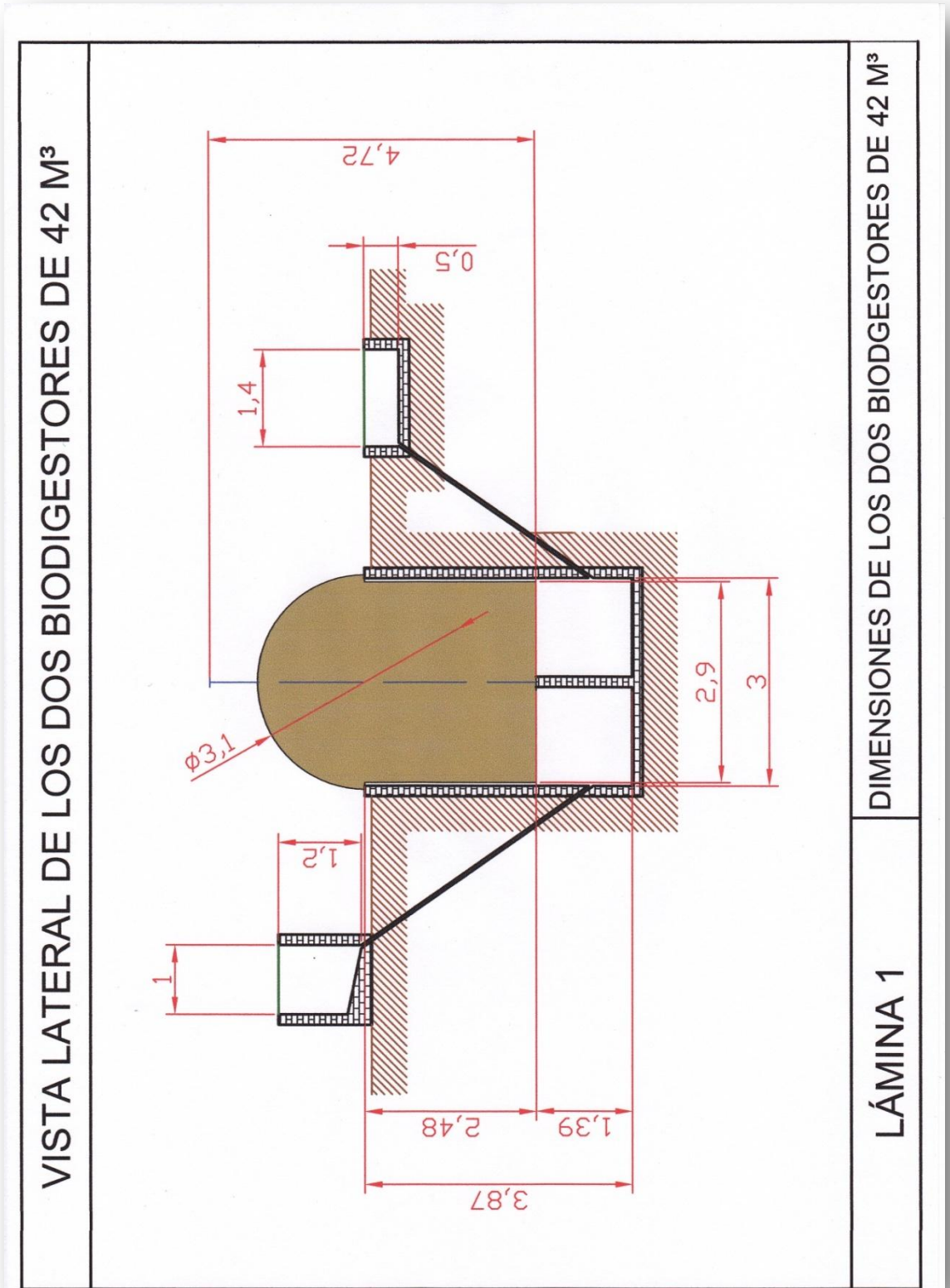


Figura 21: Dimensiones de los dos biodigestores de 42 m³

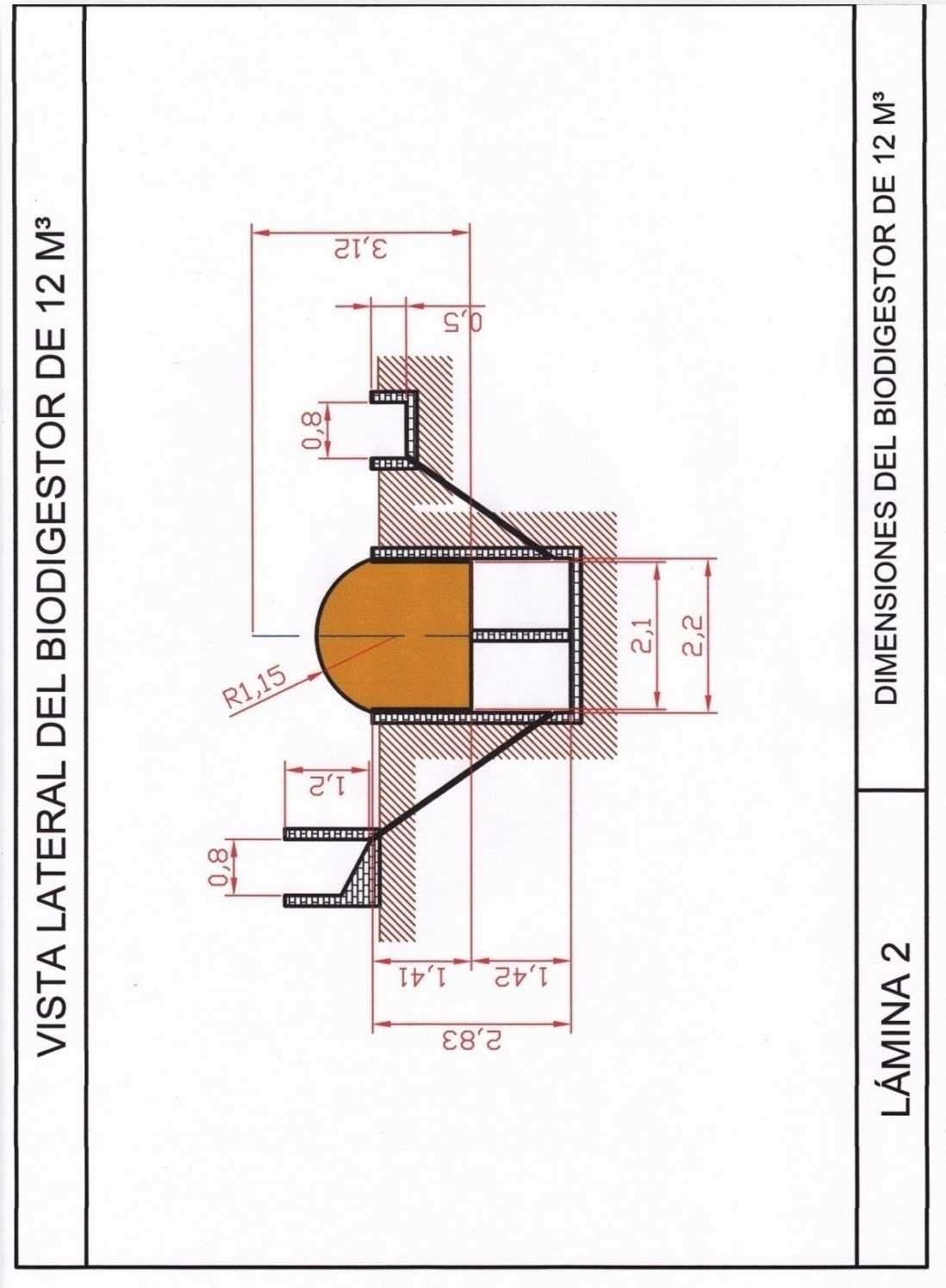


Figura 22: Dimensiones del biodigestor de 12 m³

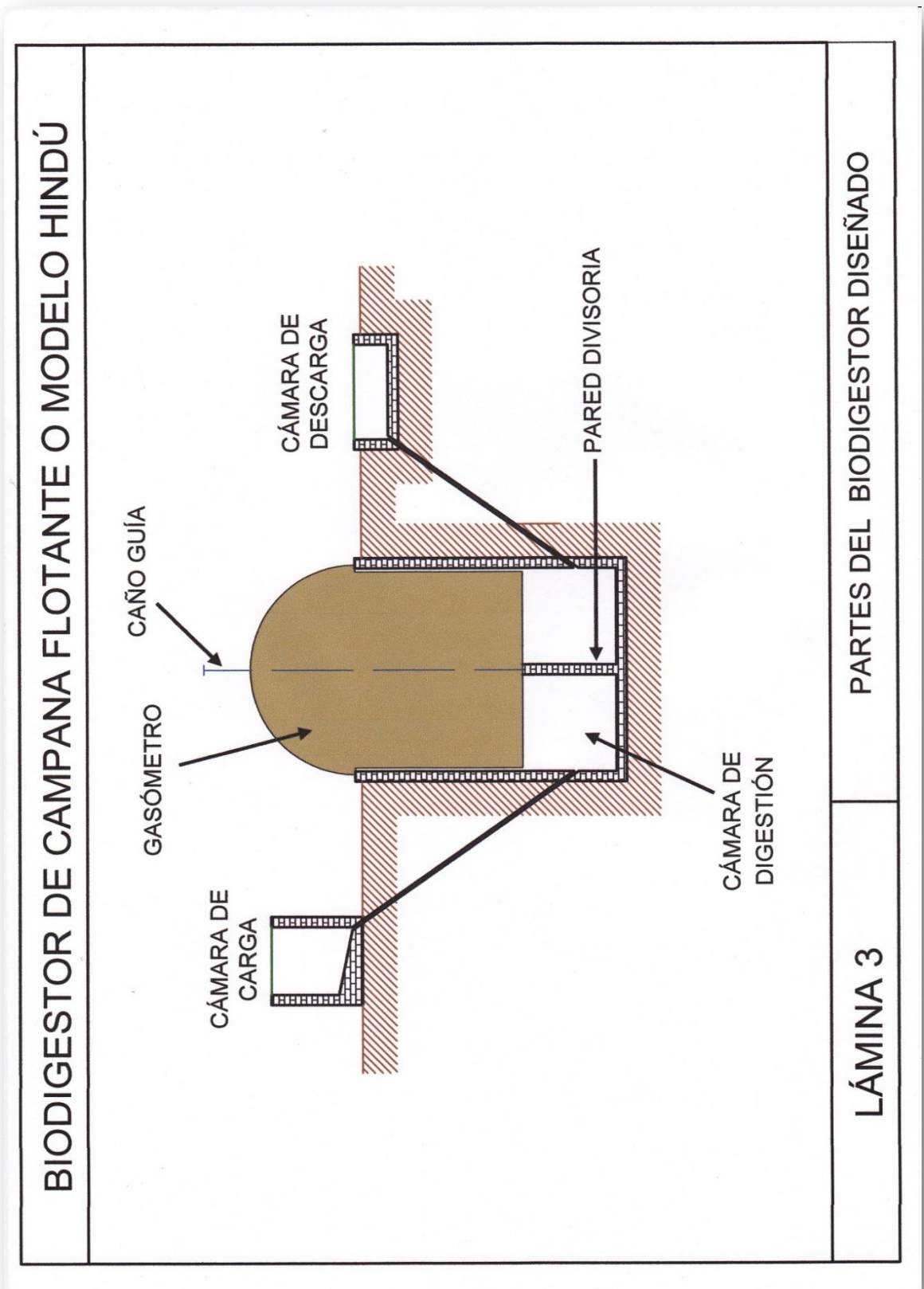


Figura 23: Partes del biodigestor diseñado tipo campana flotante

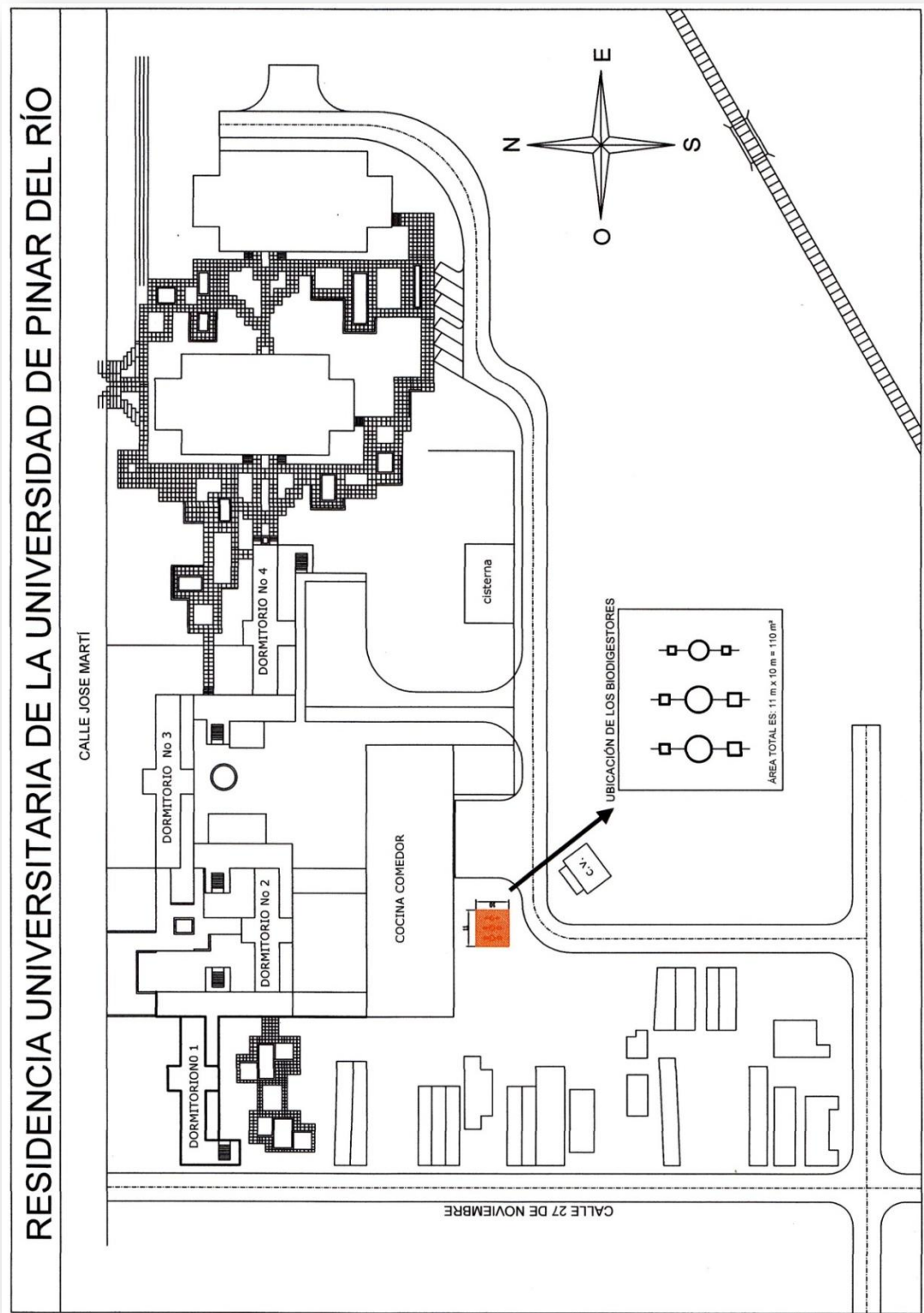


Figura 24: Ubicación de los Biodigestores diseñados en la Residencia universitaria de la Universidad de Pinar del Río