



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Generación de biogás a partir de las aguas residuales
y residuos orgánicos de una escuela en África

Biogas generation from wastewater and organic
wastes from a school in Africa

Autora

Mariana Morao Santos

Directora

Rosa Mosteo Abad

Titulación de la autora

Grado de Ingeniería Mecánica

DECLARACIÓN DE
AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Mariana Morao Santos,

con nº de DNI Y5494919A en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo

de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la

Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)

Ingeniería Mecánica, (Título del Trabajo)

Generación de biogás a partir de las aguas residuales y residuos orgánicos de
una escuela en África

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada
debidamente.

Zaragoza, 20/11/2022

Firmado por MORAO
SANTOS MARIANA -
****4919* el día
Fdo: 20/11/2022 con un

RESUMEN

En las últimas décadas se ha intensificado la necesidad del desarrollo de nuevas tecnologías orientadas a la producción de energía de forma limpia y sostenible. Esto se debe principalmente al hecho de que el uso de combustibles fósiles contribuye de forma acentuada para la generación de gases de efecto invernadero. En este aspecto la optimización de metodologías para la producción de biocombustibles destaca por la abundante disponibilidad de materia orgánica, con lo cual presenta elevado potencial energético. Con la utilización de biodigestores en el proceso de fermentación de la materia orgánica, se obtiene el biogás que posee en su composición el gas metano, ampliamente utilizado como combustible.

En este trabajo fin de grado se propone el diseño de digestores anaerobios para el tratamiento de las aguas residuales y residuos orgánicos con el objetivo final de la obtención de biocombustible que pueda ser utilizado en las instalaciones donde se producen los desechos orgánicos. Dichas instalaciones se ubican una escuela de primaria en una favela de África, localizada a 45km al norte de Nairobi, capital de Kenia. En dicha escuela no existen infraestructuras relacionadas con la gestión de residuos ni con el tratamiento de aguas residuales, lo que produce problemas de salud pública.

Además, la escuela podrá ahorrar hasta 3240 euros al año en combustible. Una vez que se haya instalado el biodigestor, se plantea capacitar profesionalmente a los empleados y familiares en las labores técnicas de implementación y mantenimiento.

Para ello, es importante destacar también que se ha adoptado un documento de consenso internacional, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Las metas están marcadas en cada uno de los objetivos, con lo cual se han enfocado en los ODS (1) Fin de la pobreza, (4) Educación de calidad, (6) Agua limpia y saneamiento, (7) Energía asequible y no contaminante, (13) Acción por el clima.

ABSTRACT

In recent decades, the need to develop new technologies for clean and sustainable energy production has intensified. This is mainly due to the fact that the use of fossil fuels contributes significantly to the generation of greenhouse gases. In this aspect, the optimization of methodologies for the production of biofuels stand out due to the abundant availability of organic matter, which presents a high energy potential. With the use of biodigesters in the fermentation process of organic matter, biogas is obtained, which has methane gas in its composition, widely used as fuel.

In this final degree project we propose the design of anaerobic digesters for the treatment of wastewater and organic waste with the final objective of obtaining biofuel that can be used in the facilities where organic waste is produced. The facility is located in an elementary school in a slum in Africa, 45 km north of Nairobi, the capital of Kenya. In this school, there are no infrastructures related to waste management or wastewater treatment, which causes public health problems.

The school will also be able to save up to 3,240 on fuel per year. Once the biodigester has been installed, it is planned to professionally train employees and family members in technical implementation and maintenance.

It is important to note that, for this also, an international consensus document has been adopted, the 2030 Agenda for Sustainable Development of the United Nations. The goals are marked in each of the objectives, which have focused on the SDG's (1) No poverty, (4) Quality education, (6) Clean water and sanitation, (7) Affordable and clean energy, and (13) Climate action.

Índice

1. Introducción	1
2. Objetivos	3
2.1. Objetivos generales	3
2.2. Objetivos de desarrollo sostenible	3
2.2.1. Fin de la pobreza	4
2.2.2. Educación de calidad	5
2.2.3. Energía asequible y no contaminante	5
2.2.4. Agua limpia y saneamiento	5
2.2.5. Acción por el clima	6
3. Situación actual de la gestión de residuos orgánicos y aguas residuales domésticas en África	7
3.1. Información general de la zona objeto de estudio	7
3.2. Alternativas para el tratamiento de aguas residuales doméstica y la gestión de los residuos	9
4. Fundamentos teóricos	11
4.1. Características de las aguas residuales	11
4.2. Características de los residuos orgánicos	12
4.3. Característica del proceso anaerobio	12
4.4. Característica del biogás	14
4.5. Tipos de biodigestores	14
4.5.1. Biodigestor cúpula flotante	14
4.5.2. Biodigestor cúpula fija	15
4.5.3. Biodigestor flujo tubular	16
4.5.4. Biodigestor modelo horizontal	17
4.5.5. Biodigestor discontinuo o batch	18

5. Metodología y recursos	19
5.1. Justificación del sistema	19
5.2. Dimensionado del biodigestor de cúpula fija	19
5.2.1. Efluente de entrada	20
5.2.2. Tiempo de retención hidráulica y volumen	22
5.2.3. Dimensionado cúpula, base cónica y cuerpo cilindro del biodigestor	22
5.2.4. Carga orgánica volumétrica	26
5.2.5. Producción de biogás	27
5.2.6. Acondicionamiento del biogás	28
5.2.7. Sistema de almacenamiento del biogás	28
5.2.8. Tanque de secado de lodos	29
5.2.9. Tubería para flujo de carga y descarga	29
5.2.10. Tubería para el flujo de gas	29
5.3. Puesta en marcha	30
5.4. Operación y mantenimiento	31
5.5. Aspectos constructivos	32
5.5.1. Losa de cimentación	32
5.5.2. Muro cilíndrico	33
5.5.3. Viga de cerramiento	33
5.5.4. Cúpula	33
5.5.5. Viga de cierre	33
5.5.6. Cuello	34
5.5.7. Tapa de hormigón	34
5.5.8. Impermeabilización	34
5.6. Aplicaciones del biogás	34
5.6.1. Ahorro económico	37
6. Conclusiones	38
7. Bibliografía	39
Lista de Figuras	42
Lista de Tablas	43
Anexos	46
A. Planos del biodigestor	47
A.1. Esquema del sistema	47

A.2. Esquema dibujo biodigestor cúpula fija	47
A.3. Dimensiones del biodigestor	47
A.4. Partes constructivas del biodigestor	47
A.5. Caja de control y tanque trampa de agua	47
B. ¿Cómo ayuda la organización?	53
C. Información General de Kenia	55
C.0.1. Geografía y Clima	55
C.0.2. La historia de Kenia	56
C.0.3. Política Interior y organizacional	58

Capítulo 1

Introducción

Con el proceso de urbanización se intensifican las relaciones sociales, pero también se intensifican las desigualdades sociales. En palabras de Milton Santos: "La ciudad en sí como relación social y como materialidad se vuelve creadora de pobreza, tanto por el modelo socio-económico sobre el que se sustenta, como por su estructura física" [1]. En este contexto, las relaciones de la sociedad con el medio ambiente son depredadoras y a veces insostenibles. En la busca del desarrollo sostenible, la mejora de la calidad de vida y la conservación del medio ambiente, podemos desarrollar tecnologías que nos facilitan el uso eficiente de los recursos naturales y el aprovechamiento de los residuos. La creciente generación de residuos sólidos urbanos surge como una de las consecuencias de un modelo socio ambiental de consumismo y despilfarro, cuyos impactos pueden ser amortiguados con el aprovechamiento energético del biogás generado a partir del procesamiento anaerobio de los residuos.

El biodigestor es un tipo de tanque cerrado, de fabricación relativamente simple, donde por medio de un proceso biológico en ausencia de oxígeno, ocurre la digestión anaeróbica, que posibilita la transformación y el aprovechamiento de ciertos desechos orgánicos que muchas veces recibe el descarte inadecuado, como la biomasa, proveniente de diversos medios para la generación del biogás que está compuesto por (CH_4 , CO_2 , H_2 , H_2S , etc).

Según la *Society for International Development* [2] millones de personas en Kenia no tienen acceso a servicios energéticos. Sin electricidad u otras energía, los hogares pobres son los que mas sufren. Sin luz, los niños luchan para hacer su tarea. Sin energía limpia, las mujeres cocinan con combustibles sucios como carbón y leña que afectan su salud y la de sus hijos. Sin energía fiable, los hogares no pueden crear nuevas actividades que puedan mejorar la calidad de sus vidas.

Como solución al problema identificado se plantea el desarrollo de un digestor anaerobio con el propósito de generar biogás para la utilización en la escuela. Una vez que dicho biodigestor esté en funcionamiento no será necesario gastar en combustibles,

como el carbón o leña. Logrando reducir las emisiones en pequeña escala por parte de la escuela y dar acceso a los niños una energía sostenible y limpia.

La implementación del biodigestor responderá positivamente no solo a mejoras en la parte energética, sino también en el saneamiento básico de la escuela, ayudando a mejorar la vida de las personas, desarrollando muchos aspectos directamente relacionados con los ODS 1, 4, 6, 7 y 13: menor pobreza, más educación, mejores condiciones sanitarias, más energía asequible y menor impacto ambiental.

Justificación

La relación entre pobreza y acceso a la energía es evidente y, la energía tiene un papel importante para reducir la pobreza, fortalecer la igualdad de género, mejorar las condiciones sanitarias y educativas. El cambio climático es uno de los factores que influye sobre la salud y sus efectos pueden agravarse en el futuro. Sabiendo que el calentamiento global pone en riesgo a las personas por sus efectos directos, como las altas temperaturas sobre la salud, pero también por sus efectos indirectos asociados, como las condiciones geográficas y estacionales de la actividad de insectos transmisores de enfermedades.

Más de la mitad de la población de África no tiene acceso a gas o electricidad, entre ellos los alumnos. Ellos frecuentan la escuela de lunes a sábado desde las siete y media de mañana hasta las cuatro de la tarde.

Una vez que el biodigestor esté en funcionamiento la escuela podrá tener acceso a su propia energía limpia, concretamente, el biogás. Para generar dicho biogás se hará uso de las aguas residuales y los residuos orgánicos. Los residuos orgánicos no solo se colectarán en la escuela, sino también, los traerán los alumnos de sus casas, si disponen de ello.

Se ha de considerar que cocinar con biogás resulta más sano, ya que se deja de generar el humo dentro de la cocina que es uno de los principales factores de muerte en África[3].

Por las razones y argumentos citados, se ha considerado relevante el estudio y diseño de un biodigestor anaerobio con el fin de ser desarrollado en un futuro.

Capítulo 2

Objetivos

2.1. Objetivos generales

Este proyecto tiene como objetivo principal, contribuir para a la mejora del saneamiento básico y el acceso a la energía, por medio de un biodigestor para una escuela que está ubicada en Thika, Kenia. Dicho biodigestor se alimentará de un sistema de recogida de las aguas residuales y de los residuos orgánicos, con el fin de producción energética de fuente renovable de bajo coste y disminución del impacto ambiental proveniente de las aguas residuales y de los residuos orgánicos generados. Se propone de la siguiente manera:

1. Recopilar los datos de las aguas residuales y de los residuos orgánicos para el diseño de biodigestores.
2. Plasmar diferentes alternativas de tratamiento.
3. Analizar las variables de operación y determinar las mediciones a efectuar para poder asegurar el correcto dimensionado del mismo.
4. Diseño y dimensionado de un modelo óptimo de biodigestor para la producción del biogás, adaptando el desarrollo en la digestión anaerobia.

2.2. Objetivos de desarrollo sostenible

Agenda 2030

En 2015, se ha firmado un documento de consenso entre 193 partes (192 países más la Unión Europea), en el que se recogen 17 objetivos con 169 metas y 232 indicadores para poder garantizar el bienestar y el desarrollo sostenible de futuras generaciones. Los objetivos incluyen todos los ámbitos que hay que tener en cuenta para conseguir el completo estado de bienestar de todos.



Figura 2.1: Objetivos de desarrollo sostenible. Fuente: ONU

Se sabe que la situación donde está ubicada la escuela es bastante precaria, por lo que, en este trabajo se intentará plasmar en algunas de las iniciativas y, poner en práctica a pequeña escala para poder sumar toda la ayuda que sea posible a esta región. En concreto en este trabajo nos centraremos en cinco de los diecisiete objetivos principales:

- (1) Fin de la pobreza.
- (4) Educación de calidad.
- (6) Agua limpia y saneamiento.
- (7) Energía asequible y no contaminante.
- (13) Acción por el clima.

2.2.1. Fin de la pobreza

Como se sabe, en países en desarrollo como Kenia no es accesible a todos. La realidad es que se ven niños por la calle sin acceso a educación, con edades de 5-7 años que en vez de estar en una escuela, tienen que estar trabajando para poder ayudar a sus padres. Al fin y al cabo este proyecto además de enseñar a muchos niños, también se podrán alimentar 3 veces al día y 6 veces por semana.

2.2.2. Educación de calidad

En la región de Thika África, donde está ubicada la escuela, la mayoría de los niños carecen de estudios, porque no hay escuela para atender a todos, una gran parte de ellos están por las calles o trabajando para ayudar sus familias. Este proyecto como se ha comentado anteriormente, sirve para ayudar para que mas niños y niñas tengan acceso a la educación. Aportando un gran valor a la escuela, ya que los alumnos además de aprender, podrán también alimentarse en el centro.

2.2.3. Energía asequible y no contaminante

Los principales efectos producidos por el cambio climático están relacionados con las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Entre estos gases, el más conocido es el dióxido de carbono, pero no se debe olvidar que esos gases están compuestos también por monóxido de carbono, azufre, y nitrógeno, todos con una particularidad, son gases que persisten en la atmósfera y capturan de alguna manera la radiación emitida por el sol, generando lo que conocemos como efecto invernadero. Muchos de estos gases se producen principalmente durante la generación, uso y empleo de la energía. Así, relacionar la energía con el cambio climático tiene un efecto positivo sobre las posibles medidas para que se reduzcan los efectos de estas emisiones en relación al clima.

Cualquier iniciativa que se enfoque con el tema del 'cambio climático' se centrará claramente en el tema energético, y en que los escenarios propuestos en los últimos años, muestran que alrededor del 80 % del efecto de los cambios climáticos, vendrán del mundo energético. Entre las opciones más relacionadas con las fuentes de energía se puede destacar que hacer uso del biogás en las cocinas, ya que esta medida puede ayudar en pequeña escala a reducir los efectos de las emisiones en relación con el clima.

2.2.4. Agua limpia y saneamiento

El agua tratada previene a la población de casi el 80 % de las enfermedades infecciosas intestinales y helmintiasis que también, pueden estar relacionados con programas de educación sanitaria u otras acciones de saneamiento ambiental. Aunque presenta un bajo índice de mortalidad, tales enfermedades poseen un alto grado endémico, especialmente en los países en desarrollo. Afectan principalmente a los niños, hasta los 5 años de edad, con un efecto devastador en su crecimiento y en el desarrollo de aptitudes, ya que los lleva a la desnutrición y situaciones frágiles, dejando a sus organismos vulnerables contra otras enfermedades, entre ellas las más destacadas son:

- Enfermedades de origen hídrico: dependen del agua para su transmisión como cólera, salmonela, diarrea, leptospirosis (desarrollada durante las inundaciones por la mezcla de la orina de la rata). El agua actúa como vehículo pasivo para el agente de infección.
- Enfermedades debidas a la falta de higiene: dependen de la educación de la población y la disponibilidad de agua segura. Estas enfermedades son relacionadas con la infección del oído, la piel y de los ojos.
- Por el agua: el agente utiliza el agua para desarrollarse, como la malaria, dengue y esquistosomose.

Por lo tanto, es imprescindible que exista una gestión de los recursos hídricos, ya que es a través del sistema de gestión ambiental que un conjunto de acciones permitirá adoptar medidas preventivas y correctivas con relación al impacto ambiental. Controlando y monitorizando las fuentes contaminantes y la calidad del agua de los manantiales, se podrán proponer soluciones para la conservación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del medio ambiente, protegiendo la salud y el ecosistema.

2.2.5. Acción por el clima

El crecimiento descontrolado de las ciudades lleva a gran parte de la población a convivir con el deterioro de la calidad del aire y del agua. La contaminación por los residuos sólidos y peligrosos y, la degradación de la costa. La falta de infraestructura y la expansión de la urbanización descontrolada ha aumentado la exposición a los contaminantes de poblaciones, con esto, los sectores más pobres, son generalmente las víctimas de la contaminación.

Capítulo 3

Situación actual de la gestión de residuos orgánicos y aguas residuales domésticas en África

3.1. Información general de la zona objeto de estudio

Según el *Joint Monitoring Programme* de la OMS, una minoría de los residentes urbanos en Kenia utiliza instalaciones de saneamiento mejoradas, mientras que los servicios de tratamiento de las aguas residuales y tratamiento de lodos fecales son en gran medida ineficientes. Se estima que solo el 31 % de los residentes urbanos tienen acceso a instalaciones mejoradas y que alrededor del 48 % utiliza instalaciones compartidas, incluidos baños públicos, así como instalaciones compartidas por un grupo de personas. Mientras que el 18 % de los habitantes de las ciudades utilizan instalaciones inadecuadas, el 3 % todavía practica la defecación al aire libre. A nivel nacional, solo el 5 % de las aguas residuales se trata eficazmente debido a los fallos del sistema de alcantarillado y procesos inadecuados de tratamiento de las aguas residuales. Los servicios de saneamiento son muy pobres, en algunas regiones se estima que más del 65 % de los excrementos terminan en el medio ambiente sin tratamiento, debido al transporte y el tratamiento ineficientes.

La escuela Ivy League Academy Thika

Es un centro de educación primaria, se ubica en una favela de la ciudad de Thika y, localizada a 45 km al norte de Nairobi, la capital del país.

Es una organización sin fines lucrativos dedicada a educar niños pobres, huérfanos y adolescentes en situación vulnerable. La mayoría de estos niños creció en barrios marginales en Thika. El fundador, es una de las personas que han podido ver su vida transformada de manera positiva a través de la educación, y ahora del mismo modo, su organización lucha para proporcionar las mismas oportunidades al mayor número posible de niños.

A día de hoy la escuela tiene alrededor de 100 miembros entre alumnos y personal, pero está creciendo, ya que en 2021 después de recaudar fondos a través de millares de personas, se podrá construir una nueva escuela. La nueva escuela tiene previsto recibir alrededor de 300 miembros, por lo tanto, para llevar a cabo este proyecto se utilizará toda la información de la actual escuela, con el propósito de construir la nueva.



Figura 3.1: Imagen de la fachada de la actual escuela.

3.2. Alternativas para el tratamiento de aguas residuales doméstica y la gestión de los residuos

Para prevenir y controlar los impactos sobre el medio ambiente y la salud humana, se utilizan diversas tecnologías de tratamiento final de los residuos. La elección de una tecnología se debe hacer de manera meticulosa, teniendo en cuenta el tipo de residuo que debe tratarse, la seguridad del proceso, la reducción del impacto ambiental y la valorización de los residuos mediante el reciclado, la reutilización o el aprovechamiento de subproductos. Para diseñar las instalaciones para la manipulación, el tratamiento y la reutilización de esos desechos, tener el conocimiento de su naturaleza y características es esencial para conseguir una tecnología adecuada y poder dimensionarlo. Como la escuela objeto de estudio carece de una red de saneamiento básico, en este proyecto se planteará el tratamiento de las aguas residuales y de los residuos orgánicos a través de los biodigestores. A continuación, se muestran varias alternativas para la gestión de las aguas residuales y los residuos domésticos:

– Digestión Anaerobia

Es un proceso biológico y degradativo que ocurre en ausencia de oxígeno, convirtiendo la materia orgánica de un sustrato en biogás que es formado por dióxido de carbono y metano con trazas de otros gases.

Es por medio del digestor anaerobio que se posibilitará convertir los residuos orgánicos, estiércoles y el afluente en biogás, logrando así un tratamiento adecuado de dichos residuos de la escuela.

– Reciclaje

Es un proceso de recolección y procesamiento de la porción seca del residuo que aún posee algún tipo de valor agregado y, por lo tanto, puede ser utilizado como materia prima para otros productos. Entre los beneficios del reciclaje está la conservación de los recursos naturales, ahorro de energía y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global.

En este proyecto se reciclarán los desechos orgánicos generados en la cocina, las aguas residuales generadas y el estiércol de los animales, vertiéndolos al biodigestor. Por otro lado, en la salida del biodigestor se generan los lodos, que también se reciclarán una vez que haya terminado el proceso de deshidratación en lecho de secado, con eso se logran beneficios como abono para jardines, huerto o mejora del suelo.

– Compostaje

Es un método de degradación aeróbica que convierte, por acción de microorganismos, la porción orgánica de los residuos residenciales, industriales o agropecuarios en fertilizantes. Así como ocurre en el reciclaje, el compostaje da utilidad para los residuos orgánicos, evitando su envío al vertedero. Como resultado final de este proceso, se tiene el compuesto orgánico que puede ser utilizado como abono mejorando las características nutritivas del suelo disminuyendo los riesgos al medio ambiente.

Entre las ventajas en la adopción del compostaje para el tratamiento de residuos orgánicos, se puede citar la formación del abono orgánico, reducción del residuo destinado al vertedero, reciclaje de nutrientes en el suelo, eliminación de patógenos durante el proceso y ahorro en el tratamiento de efluentes. Por otro lado, el proceso demanda grandes áreas para su aplicación, haciéndose inviable para grandes volúmenes de residuos.

Se planteará el uso del compostaje cuando el volumen de residuos orgánicos llevado por los alumnos sean muy alto, fomentando una inclusión de los alumnos en la generación de abono para la escuela, a través del compost.

Capítulo 4

Fundamentos teóricos

4.1. Características de las aguas residuales

Las aguas residuales tienen la composición muy variable y dependerán de diversos factores que les afectan. Entre ellos se tienen el consumo promedio de agua por habitante y por día y los hábitos alimenticios de la población que afectan a la concentración que caracteriza su composición química. En general suelen ser una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos. La materia inorgánica proviene de los subproductos desechados durante el día a día y también de la calidad de las aguas de abastecimiento. La materia orgánica proviene exclusivamente de la actividad humana y está compuesta por materia carbonácea, proteínas y grasas.

– Características físicas

Las principales características físicas de las aguas residuales son su contenido de sólidos, distribución de partículas por tamaño, turbiedad, color, transmitancia/absorbancia, olor temperatura, densidad y conductividad.[4]

– Características químicas

Las aguas residuales domésticas poseen características químicas compuestas por materia orgánica y inorgánica. Los elementos orgánicos presentan combinaciones de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. En el alcantarillado doméstico se puede encontrar proteínas, carbohidratos, grasas y aceites, surfactos, fenoles, pesticidas, etc. Los elementos inorgánicos se corresponden con oxígeno disuelto, nitrógeno, metales, fósforo, azufre en forma de gas sulfhídrico, gas carbono y también diversos sales con el carbono, bicarbonatos, fosfatos y otros.

El parámetro más utilizado para medir la polución orgánica existente en las aguas residuales es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), que relaciona la cantidad de oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos para la oxidación bioquímica de la materia orgánica.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es el agente que mide la cantidad similar para la oxidación química de la materia orgánica, por medio de un factor oxidante en medio ácido, habitualmente suele ser el dicromato de potasio.

– **Características biológicas**

Las principales características biológicas de las aguas residuales son los microorganismos, es decir, el índice de coliformes fecales, que están presentes en las excretas humanas y los coliformes totales, que están presentes en las excretas humanas y de animales. Ellos son los responsables por los patógenos, organismos y microorganismos que contaminan y causan las enfermedades por su difusión en el cauce del agua.

4.2. Características de los residuos orgánicos

Según el informe de CCA [5], la definición de residuos orgánicos se refiere a todo aquel material que proviene de especies de flora o fauna y es susceptible de descomposición por microorganismos.

Los residuos orgánicos, son biodegradables, se componen naturalmente y tienen la propiedad de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otra materia orgánica, pueden estar compuestos de restos de comida y restos vegetales de origen doméstico.

4.3. Característica del proceso anaerobio

En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible es por oxidación directa que se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico.

En la digestión anaeróbica, los microorganismos metanogénicos desempeñan la función de enzimas respiratorias que en conjunto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. De esta forma, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás que abandona el sistema[6].

La digestión anaerobia se considera un proceso muy complejo, tanto por las reacciones bioquímicas que conlleva y también por la cantidad de microorganismos involucrados. Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas[6]:

1. Hidrólisis.
2. Etapa acidogénica.
3. Etapa acetogénica.
4. Etapa metanogénica.

La primera fase es la hidrólisis, es donde se produce la disolución de los compuestos orgánicos que se encuentran en estado sólido o poseen un alto peso molecular, denominadas proteínas, carbohidratos y grasas, que son hidrolizadas por las enzimas extra celulares que son producidas por los microorganismos acidogénicos. Esta etapa es muy importante y condiciona a las siguientes debido a que el resto del proceso se realiza únicamente sobre compuestos disueltos, obteniendo como resultado compuestos solubles más sencillos, como los aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga, que luego serán metabolizados por las bacterias acidogénicas dando lugar, principalmente, a los ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono.

La segunda y tercera fase son la acidogénesis y acetogénesis, es donde los compuestos solubles generados en la fase anterior procesan la materia orgánica soluble y liberan principalmente hidrógeno molecular, dióxido de carbono y ácido acético. Dado que la fase de acidogénesis es considerada la etapa más rápida del proceso global, resultando valores de pH ligeramente ácidos, con lo cual se debe controlar la cantidad de hidrógeno, porque el metabolismo de las bacterias acidogénicas depende de él.

La última fase del proceso es la metanogénica que ocurren en dos vías, una es la vía acetoclástica que transforma el ácido acético en hidrógeno y dióxido de carbono y la vía hidrogenotrófica, que a partir del hidrógeno y el dióxido de carbono genera el metano. Las transformaciones químicas y físicas que sufre la materia orgánica en estos procesos no solo conducen a la producción de biogás, sino que además pueden generar un residuo estabilizado o digerido que tiene propiedades adecuadas para ser utilizado como biofertilizante, o bien decir abono, como se aplicará en el lodo de secado [7].

4.4. Característica del biogás

El biogás es el resultado de las de reacciones de degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, esto ocurre cuando las bacterias se alimentan de la materia orgánica, él esta compuesto de una mezcla principal de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) y traza otras pequeñas proporciones de gases como el hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S), pero no son fundamentales.

En la Tabla 4.1 se puede observar sus características generales.

Composición	55 – 70 % metano (CH_4) 30 – 45 % dióxido de carbono (CO_2) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m^{-3}
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/ m^3 biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH_4 mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m^{-3}
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 $kgkmol^{-1}$

Tabla 4.1: Características generales del biogás, Fuente: Manual de Biogás [14]

4.5. Tipos de biodigestores

En este apartado se plantearán algunos de los principales biodigestores de digestión anaerobia como alternativa de tratamiento de aguas residuales y residuos orgánicos, dichos biodigestores pueden tener amplios tipos de tecnologías, que incluyen desde construcciones caseras con diversos materiales, hasta grandes plantas con alta gama tecnológica completamente automatizadas. La cuestión no es solamente qué tipo puede ser mejor que otro, sino si dicho modelo se adapta o no a las necesidades en las cuales se encuentra la escuela, que es de bajos recursos y mano de obra no muy especializada.

4.5.1. Biodigestor cúpula flotante

El modelo de cúpula flotante, mas bien conocido como modelo hindú, se caracteriza por poseer una cúpula que es una especie de tapa conocida como gasómetro, la cual puede estar sumergida sobre la biomasa en fermentación o puede estar en un sello de agua externo. Su estructura se compone de una pared central que sirve para dividir

el tanque de fermentación de dos cámaras, para así permitir que el material pueda circular por el interior de la cámara de fermentación.

El biodigestor hindú es característico por poseer presión de operación constante, eso significa que el volumen de gas producido no es consumido de inmediato y hace que el gasómetro tiende a desplazarse verticalmente aumentando el volumen del mismo manteniendo la presión en el interior.

Este modelo suele ser de fácil construcción, sin embargo algunos factores pueden encarecer el coste final como por ejemplo el hecho de que el gasómetro sea de metal.

Cuando se piensa en construir un biodigestor del modelo hindú es preciso tener en cuenta que una de las ventajas de ese modelo es su cúpula flotante que permite mantener la presión de escape de biogás estable, es decir, no es necesario regular constantemente los aparatos que utilizan metano.

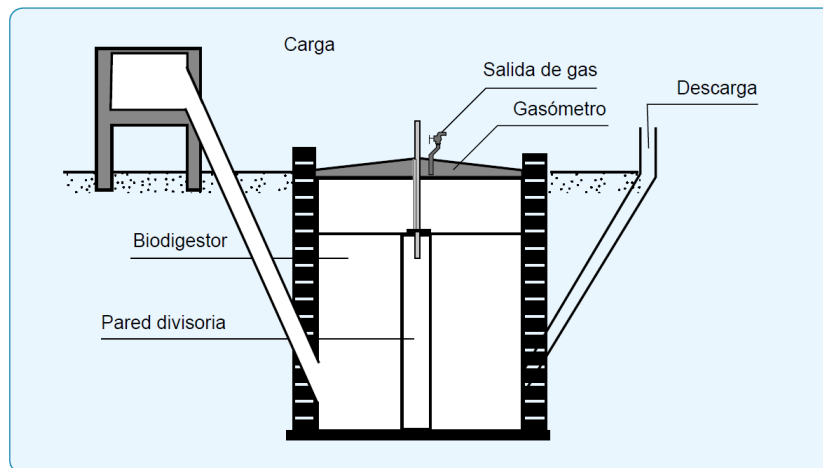


Figura 4.1: Biodigestor Modelo hindú, Fuente: Manual Biogás[14]

4.5.2. Biodigestor cúpula fija

Este modelo, más bien conocido como modelo chino, está formado por una cámara cilíndrica en mampostería donde tiene lugar la fermentación, presenta un techo impermeable y abovedado que está destinado al almacenamiento del biogás. El funcionamiento se basa en el principio de prensa hidráulica, un aumento de presión en su interior como consecuencia de acumulación de biogás produce un desplazamiento del efluente de la cámara de fermentación al tranque de compensación. Cuando se produce una descompresión sucede lo contrario cuando se produce la descompresión.

Este modelo presenta una desventaja debido a que una porción de gas que se forma en la caja de salida se escapa a la atmósfera, reduciendo parcialmente la presión interna del gas. Por presentar esta característica, este biodigestor no se utiliza para instalaciones de gran tamaño. El funcionamiento de este biodigestor normalmente es

a alta presión, que puede variar en función de la producción y consumo del biogás, siendo así necesaria la instalación de una cámara de regulación que permita trabajar con baja presión.

Una de las dificultades para la construcción de este biodigestor es que todo se realiza en mampostería por lo que se requiere de un albañil cualificado, pues se utiliza una técnica que emplea el propio peso del ladrillo para mantenerlo en la posición necesaria hasta que el mortero se seque. En las paredes externas e internas es necesario una buena capa de impermeabilizante, para así impedir infiltraciones de agua que se pueden absorber del suelo durante las lluvias o de la capa freática.

Otra característica de este modelo es que el tanque de digestión puede construirse por encima del nivel del terreno, pero de modo que no dificulte el abastecimiento. Por lo tanto, deben observarse medidas de profundidad y diámetro, pudiendo imposibilitar su instalación cuando el suelo se presenta pedregoso o pantanoso. El biogás formado en el biodigestor de cúpula fija es llevado hasta el destino de consumo por tubos y conexiones de PVC.

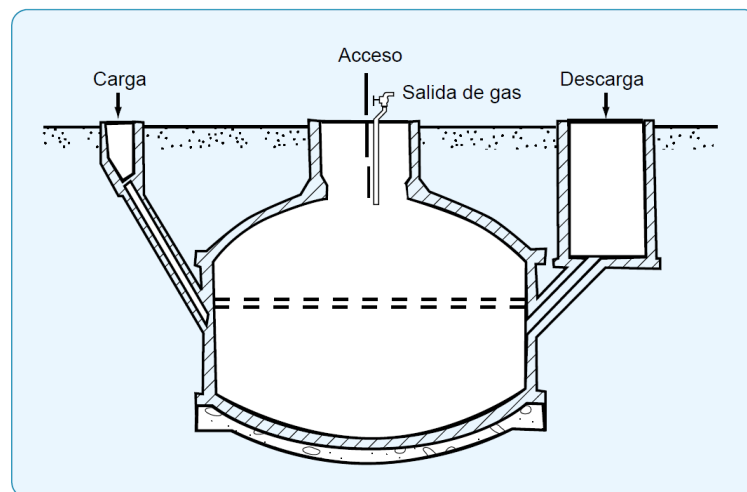


Figura 4.2: Biodigestor Modelo cúpula fija, Fuente: Manual Biogás[14]

4.5.3. Biodigestor flujo tubular

Este modelo también conocido como *plug flow*, estanque cubierta, canadiense o flujo pistón. Dicho biodigestor presenta geometría piramidal, por debajo del nivel del suelo y aberturas para entrada del sustrato y salida del digestor. Además, está impermeabilizado en mampostería o con material sintético, como PVC o HDPE. Su área de exposición al sol es mayor, lo que permite un aumento en producción de biogás, principalmente en regiones cálidas. Esto se debe a que la longitud de este modelo de biodigestor es mayor que su anchura y profundidad. El biogás producido

infla el material sintético flexible que cubre la cámara. Esta cubierta sirve de depósito para el biogás producido y puede ser retirada y limpiada debido a su fácil manejo. El flujo del material a ser procesado siempre sigue una misma secuencia, es decir, los desechos conforme van siendo introducidos en el tanque del biodigestor van desplazando el material más antiguo al extremo opuesto, actuando como un pistón. Causan una dispersión longitudinal mínima, con tiempo de retención hidráulico suficiente para finalizar el proceso de digestión anaerobia. El factor más significativo del biodigestor tubular es su capacidad de separar acidogénesis y metanogénesis longitudinalmente en el biodigestor, permitiendo que el biodigestor se comporte como un sistema de dos fases. De esta manera, el biodigestor tubular trata los residuos anaerobios con alta estabilidad, alta tasa de depuración y recuperación de energía con una buena economía de proceso.

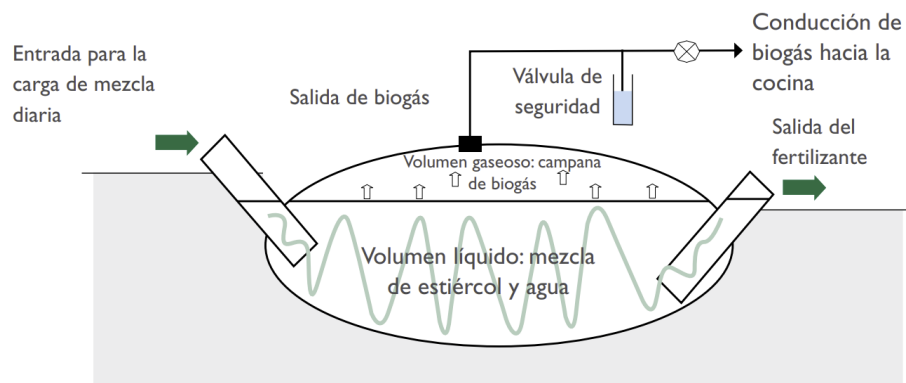


Figura 4.3: Biodigestor Modelo flujo tubular, Fuente: Guía Biodigestor GIZ

4.5.4. Biodigestor modelo horizontal

El biodigestor de modelo horizontal generalmente es construido bajo tierra, de normal tiene poca profundidad y suele ser alargado, similar a un canal, con relaciones de largo-ancho de 5:1 hasta 8:1 y, su sección puede ser transversal circular, cuadrada o en "V". El modo de operación es a régimen semi continuo, entrando la carga por un extremo del digestor y saliendo los lodos por el extremo opuesto. La cúpula puede ser rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones climatológicas.

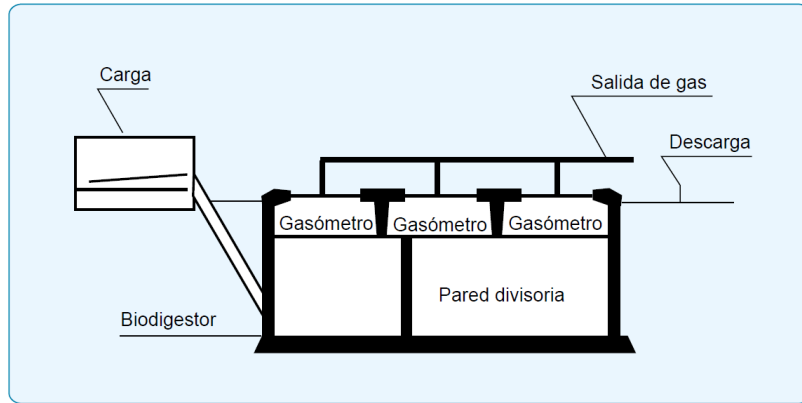


Figura 4.4: Biodigestor Modelo horizontal, Fuente: Manual Biogás[14]

4.5.5. Biodigestor discontinuo o batch

El biodigestor modelo discontinuo o batch está compuesto por un cuerpo cilíndrico, un gasómetro flotante y una estructura para guía del gasómetro, que puede ser un sistema de trabas y poleas. Su instalación puede ser solo un tanque anaerobio o varios tanques en serie. Este modelo se utiliza cuando la biomasa está disponible en períodos más largos, como en el caso de las granjas avícolas que suministran su biomasa después de la venta de los animales y la limpieza de la granja. En el modelo batch la producción de biogás ocurre en forma de picos, su abastecimiento es de una sola vez y su tiempo de fermentación es relativamente largo.

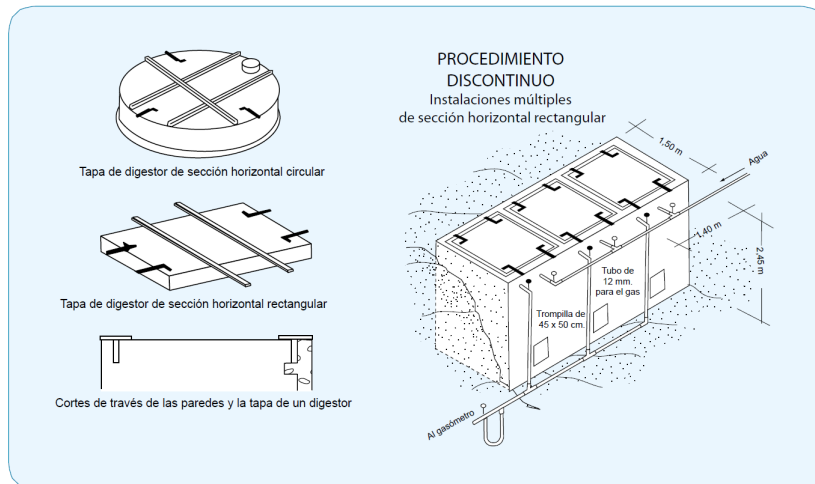


Figura 4.5: Biodigestor Modelo discontinuo, Fuente: Manual Biogás[14]

Capítulo 5

Metodología y recursos

5.1. Justificación del sistema

Con el fin de llevar a cabo un proyecto que satisfaga en la medida de lo posible las necesidades de la escuela y su alumnado, se ha explicado la investigación que se desarrolla en el marco de este proyecto tanto con la tutora como con los responsables de la escuela, para entender el funcionamiento y las necesidades de la misma, donde será desarrollado con el fin de ver las diferentes formas de abordar un proyecto como este.

Se sabe que la escuela tiene una dependencia de sólidos combustibles como fuente principal de combustible, entre ellos está la leña y el carbón vegetal. Con esta iniciativa del biodigestor se puede lograr una cocina limpia posibilitando visualizar un cambio hacia alternativas para la escuela y sus alumnos reduciendo las emisiones en pequeña escala.

Con base a proyectos ya realizados, libros y artículos publicados relativos a la producción energética a partir de fuentes renovables proveniente de los desechos humanos o de animales en África, se pretende aplicar el modelo de cúpula fija ya que posee una vida útil entorno a 30 años, es de fácil construcción y requiere poco mantenimiento.

5.2. Dimensionado del biodigestor de cúpula fija

Para que sea posible ejecutar el proyecto y lograr un sistema de saneamiento básico, es necesario conocer el caudal, con lo cuál se ha tomado los valores actuales de consumo de la escuela, aplicando un factor de corrección para la nueva escuela, ya que es concorde a la cantidad de agua disponible que se tendrá una mayor o menor influencia.

Para conseguir un mayor aprovechamiento de las aguas residuales referido a la generación de biogás para la escuela de manera económica, el mismo debe ser canalizado

y miembros del personal realizan sus comidas, con lo cual, estas 300 personas generan una media total de 60kg por día de biorresiduos en peso húmedo.

Una vez colectados dichos desechos orgánicos, se procesarán y diluirán con agua en una proporción de 1 parte de residuos a 2 partes de agua. Esto dará lugar a una mezcla líquida que se puede verter fácilmente en el digestor. Para estipular la cantidad diaria, se ha tomado que cada 1kg de residuos equivale 1L del mismo, calculando la cantidad total:

$$0,2 \frac{kg}{hab \cdot día} \cdot 300 hab = 60 \frac{kg}{día} \quad (5.1)$$

$$(2 + 1) \cdot 60 \frac{kg}{día} = 180 \frac{kg}{día} = 180 \frac{L}{día} \quad (5.2)$$

En la escuela se tendrán 5 cerdos, que según el Manual del Biogás [6], cada cerdo genera una media diaria de 2,5kg de estiércol por día, que luego se diluirá a 3 partes de agua. Como se ha citado en el apartado anterior, se ha tomado que cada 1kg de residuos equivale 1L del mismo, se calcula la cantidad total:

$$(3 + 5) \cdot 2,25 \frac{L}{día} \approx 35 \frac{L}{día} \quad (5.3)$$

Por otro lado, se ha estipulado, a través de los consumos reales del actual escuela, que para este proyecto se estima un consumo aproximadamente de 585 litros de agua al día. De manera que los residuos fecales provenientes del váter, serán diluidos cuando lleguen al alcantarillado a través de la descarga de los baños, por lo tanto se computará conjuntamente con las aguas residuales.

En resumen los datos de entrada para hacer el diseño se muestran en la tabla 5.1.

Datos de la escuela

Población total de la escuela	300 hab
Animales	5 cerdos
Estiércol Cerdo	2,25kg/cerdo/día = 11,25kg
Materia Orgánica Diluida	215L/día
Residuos fecales	250gr/hab/día = 75kg día
Caudal de aguas residuales domésticas	585L/día
Temperatura del agua residual	25 °C
Caudal de entrada del afluente	800L/día

Tabla 5.1: Adaptado de Comprehensive Overview of Biogas for Sanitation Options [9] y UPM [9]

Según los parámetros de entrada, el valor medio del caudal de entrada será el valor de la materia orgánica diluida más las aguas residuales, es decir:

$$Q_{med} = 800 \frac{L}{día} \quad (5.4)$$

5.2.2. Tiempo de retención hidráulica y volumen

El Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) está definido como la relación entre el volumen del reactor y el caudal de alimentación, representa el tiempo medio en el que las células y los sustratos permanecen dentro del digestor. En un sistema de carga diaria (régimen semi-continuo), el tiempo de retención se determina con el volumen diario de carga que será necesario para alimentar al digestor.

Según J. Martí Herrero [10], el TRH recomendado para un clima con una temperatura ambiente media de 25°C, es aproximadamente de 20 días. Utilizando este valor podemos calcular el volumen con la siguiente relación :

$$V = Q_{med} \cdot TRH \quad (5.5)$$

$$V = 0,8 \cdot 20 = 16m^3 \quad (5.6)$$

Dónde:

Q_{med} : Caudal de entrada del afluente ($m^3/\text{día}$)

V : Volumen del reactor (m^3)

TRH : Tiempo de retención hidráulica (día)

5.2.3. Dimensionado cúpula, base cónica y cuerpo cilindro del biodigestor

Para realizar el dimensionado del biodigestor se ha tomado como referencia principal a J.A. Guardado [11]. El volumen total calculado anteriormente está dividido en tres partes, que es el volumen de la parte cilíndrica, volumen de la cúpula y volumen de la base cónica, conforme se puede observar en la Figura 5.2.

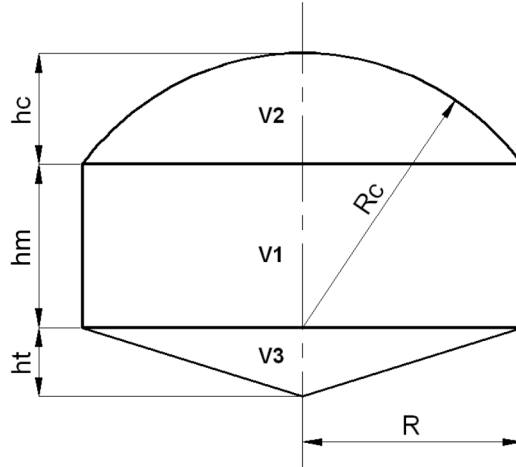


Figura 5.2: Partes que forman el biodigestor de cúpula fija. Fuente: Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas [11]

Dónde:

- h_c : Altura de la cúpula fija (m)
- h_m : Altura muro cilíndrico (m)
- h_b : Altura de la base cónica (m)
- R : Radio básico (m)
- R_c : Radio de la cúpula (m)
- V_1 : Volumen del cilindro (m^3)
- V_2 : Volumen de la cúpula (m^3)
- V_3 : Volumen de la base cónica (m^3)

Para poder calcular las dimensiones citadas anteriormente, se han establecido las siguientes relaciones:

$$h_c = 2 \cdot U \quad (5.7)$$

$$h_m = 3 \cdot U \quad (5.8)$$

$$h_b = 0,15 \cdot D \quad (5.9)$$

Dónde:

- U : Unidad proporcional (m)

Para poder calcular las diferentes partes del biodigestor de cúpula fija, se partirá de dichas relaciones y el volumen (5.6), aplicando las siguientes expresiones:

$$R = \sqrt[3]{\frac{V_t}{\pi \cdot 1,121}} = 1,66m \quad (5.10)$$

Dónde:

R : Es el radio básico correspondiente a la parte cilíndrica del digestor (m).

V_t : Volumen total del biodigestor (m^3).

Es a través de la unidad proporcional U , que se permitirá calcular las diferentes partes del digestor, ya que está relacionada con el valor del radio básico calculado anteriormente, conforme la siguiente expresión:

$$U = \frac{R}{4} = 0,41m \quad (5.11)$$

Radio y altura de la cúpula

El radio de la cúpula (R_c), es el radio comprendido entre el arco de la cúpula y el centro de la base del cilindro del digestor, para poder calcularlo utilizaremos la siguiente expresión:

$$R_c = 5 \cdot U = 2,07m \quad (5.12)$$

Se sabe que la altura de la cúpula (h_c) está comprendida entre el polo de la esfera y la base superior del cilindro del digestor. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$h_c = 2 \cdot U = 0,83m \quad (5.13)$$

Muro cilíndrico

Se puede decir altura del muro cilíndrico (h_m) o altura de la pared, es la altura que corresponde a la parte cilíndrica del digestor. Se calcula con la siguiente expresión:

$$h_m = 3 \cdot U = 1,24m \quad (5.14)$$

Altura base cónica

La altura de la parte cónica (h_b), es la altura del cono base comprendida entre el vértice del cono invertido y el centro de la base del cilindro del digestor. Se puede calcular con la siguiente relación:

$$h_b = 0,15 \cdot D = 0,5m \quad (5.15)$$

Volúmenes

Una vez calculadas las dimensiones anteriores, se pueden calcular los diferentes volúmenes por los cuales está compuesto el digestor de cúpula fija. El volumen del cilindro (V_1) viene dado por:

$$V_1 = \pi \cdot R^2 \cdot h_m = 10,7m^3 \quad (5.16)$$

Para calcular el volumen de la parte esférica (V_2), se puede utilizar la formula que define un casquete esférico, es decir una parte de una esfera determinada por un plano secante:

$$V_2 = h_c^2 \cdot \pi \cdot \left(R_c - \frac{h_c}{3}\right) = 3,87m^3 \quad (5.17)$$

El volumen de la base cónica (V_3) es:

$$V_3 = R^2 \cdot \pi \cdot \frac{h_b}{3} = 1,43m^3 \quad (5.18)$$

Cuello

La parte superior que está apoyada sobre la cúpula, que se denomina como cuello, según J.A. Guardado [11] se recomienda que tenga un ancho mínimo de 50cm, para permitir el pasó del operario para mantenimiento o limpieza. Su altura no debería exceder los 50cm. Para el diseño inicial se han tomado las medidas recomendadas en bibliografía.

Tanque de entrada

Para entrada del afluente se construye un tanque de carga o tanque de entrada. La materia prima afluente se encuentra en dicho tanque. Según J.A. Guardado [11] su volumen debe ser poco mayor al volumen del líquido diario que entra al digestor. Se recomienda también construir la loza del tanque con una pequeña inclinación hacia el lado opuesto del tubo de carga, para evitar que materiales inertes penetren en el biodigestor. Además, es importante dejar una pequeña abertura en el lado de la inclinación, para que se puedan evacuar dichos materiales.

$$V_{TE} \geq V_E = 0,8m^3 \quad (5.19)$$

$$V_{TE} = 1m^3 \quad (5.20)$$

Dónde:

V_{TE} : Volumen del tanque de entrada (m^3)

V_E : Volumen líquido de entrada diario (m^3)

Para el valor del radio del tanque de entrada es de 1m y sabiendo que dicho tanque tiene el formato de un cilindro se calcula el valor de la altura como:

$$V_{TE} = R_{TE}^2 \cdot \pi \cdot h_{TE} = 1m^3 \quad (5.21)$$

$$h_{TE} = \frac{1}{R_{TE}^2 \cdot \pi} = 1,3m \quad (5.22)$$

Dónde:

h_{TE} : Altura del tanque de entrada (m)

r_{TE} : Radio del tanque de entrada (m)

Tanque de compensación

Se calcula el volumen del tanque de compensación como el equivalente al volumen del segmento esférico(5.17) que es el volumen del gas. Ya que dicho volumen de gas que se encuentra en el interior se debe compensar con el volumen que se encuentra en la parte exterior, por lo tanto:

$$V_{TC} = V_2 = 3,87m^3 \quad (5.23)$$

Dónde:

V_{TC} : Volumen del tanque de compensación (m^3)

V_2 : Volumen de la cupula (m^3)

Para calcular la altura de dicho tanque de compensación se puede aproximar a la altura de la parte cilíndrica del biodigestor dejando un borde libre de 20 cm, con lo cuál la altura total será:

$$h_{TC} = hc + 0,20 = 1,03m \quad (5.24)$$

Dónde:

h_{TC} : Altura tanque de compensación (m)

5.2.4. Carga orgánica volumétrica

Los biorresiduos disponibles, es decir, la mezcla de residuos de vegetales, frutas y alimentos, estiércol humano y animal, tienen un contenido de sólidos totales (ST) del 20%, es decir, de los 147,5 kg de peso húmedo, el 20% equivale a 29,5kg que corresponde con la materia seca. Por otro lado, el contenido de los sólidos volátiles

(SV) de la materia seca es el 80%, lo que significa que se tiene por un lado 23,6kg de sólidos volátiles y 5,9kg de sólidos no volátiles. El balance de los biorresiduos es agua que no contiene sólidos volátiles. Por lo tanto, de los 800 litros del caudal de entrada, la proporción de sólidos volátiles asciende a 23,6kg. Calculando el valor m^3 de materia orgánica diluida:

$$S_0 = 23,6 \cdot \frac{1000}{800} = 29,5 \frac{kgSV}{m^3} \quad (5.25)$$

Conocida la concentración de la materia orgánica en el flujo de entrada, se puede obtener el valor de la carga orgánica volumétrica(COV), con la siguiente expresión:

$$COV = \frac{Q_{med} \cdot S_0}{V} = \frac{0,800 \cdot 29,5}{16} = 1,475 \frac{kgSV}{m^3d} \quad (5.26)$$

Dónde:

COV : Carga orgánica volumétrica (kgSV/ m^3 d)

Q_{med} : Caudal de entrada del afluente (m^3 /día)

S_0 : Concentración del sustrato en el flujo de entrada (kgSV/ m^3)

V : Volumen del reactor (m^3)

5.2.5. Producción de biogás

Teniendo en cuenta que los desechos orgánicos suelen producir volúmenes de biogás de $0,67m^3/kgSV$, suponiendo $0,4m^3 CH_4/kgSV$ para un contenido de metano del 60% [8]. Conforme los valores calculados en apartados anteriores, se cabe esperar que a través de la entrada de $1,47kgSV/m^3$ al reactor por día, tomando el valor de $0,67m^3/kgSV$ de rendimiento de biogás por kg SV y con un volumen de reactor de $16m^3$, el caudal de biogás es aproximadamente de $15,75m^3$ de biogás por día . Para hallar el valor real de biogás se tiene que calcular la tasa de producción y la producción específica de gas, con las siguientes expresiones:

$$TPG = \frac{Q_{biogas}}{V} \quad (5.27)$$

$$TPG = \frac{15,75}{16} = 0,98 \quad (5.28)$$

$$PEG = \frac{TPG}{COV} \quad (5.29)$$

$$PEG = \frac{0,98}{1,475} = 0,6 \quad (5.30)$$

Dónde:

TPG : Tasa de producción de gas (m^3 de biogás/ m^3 digestor día)

PEG : Tasa de producción de gas (m^3 de biogás/kg materia día)

COV : Carga orgánica volumétrica ($\text{kgSV}/\text{m}^3\text{d}$)

Reajustando con los valores calculados anteriormente, se obtiene la entrada de $1,47\text{kgSV}/\text{m}^3$ al reactor por día, y $0,6\text{m}^3$ rendimiento de biogás por kgSV y con un volumen de reactor de 16m^3 , se produce un caudal de biogás de aproximadamente 14m^3 de biogás por día. Suponiendo que el biogás consiste en un 60% de metano (CH_4), resulta un valor de $8,4\text{m}^3/\text{día}$.

5.2.6. Acondicionamiento del biogás

Cuando el biogás sale del digestor, está saturado con vapor de agua y contiene altas cantidades de (CO_2) con deficiencia de energía y cantidades variables de sulfuro de hidrógeno (H_2S) corrosivo y tóxico . Dependiendo del uso del biogás, puede que tenga que limpiarse para eliminar el (H_2S) o el vapor de agua, ya que el biogás está casi 100% saturado con vapor de agua. Se instala a la salida de la tubería del biogás una caja de control en serie con una trampa de agua, eso evitará que cuando el biogás se mueve a través de las tuberías de gas desde el digestor hasta donde se empleará, no condensará vapor en las paredes de la tubería, ya que este tipo de acumulación de agua condensada puede provocar el bloqueo de la tubería de gas, aunque el biogás esté presurizado. Para evitar estos tipos de problemas de condensación, se debe instalar una trampa de agua.

Para calcular la profundidad del tanque de la trampa se puede tomar la misma altura que tiene la cúpula del digestor, ya que el tubo tiene que tener un profundidad mayor o igual a 1m, pero teniendo en cuenta que dicha parte del tubo puede estar sumergida en el suelo.

Para el dimensionado de la caja de control no se tiene una especificación exacta de medida, pero se tomará un ancho y largo de 60cm y 40cm de alto, para un diseño inicial.

$$h_{TT} = h_c = 0,83\text{m} \quad (5.31)$$

Dónde:

h_{TT} : Altura del tanque de la trampa de agua (m^3)

h_c : Altura de la cúpula (m)

5.2.7. Sistema de almacenamiento del biogás

El almacenamiento del biogás en el digestor de cúpula fija se encuentra en la parte superior, por lo tanto, es esencial que sea hermético y evitando así fugas de gas. Dicho almacenamiento ocurre cuando la válvula de salida está cerrada y el gas se acumula en la

cúpula. En el caso de que ocurra por la noche, la presión del gas aumentaría y empujaría el lodo del digestor hacia abajo y presionando hacia el tanque de compensación. Una vez que se abre la válvula y empieza a consumir gas, una cantidad proporcional de lodo retornará de nuevo al digestor.

5.2.8. Tanque de secado de lodos

En el lecho de secado se realiza una deshidratación e higienización a través de la radiación solar, una vez que los lodos se encuentran estabilizados a la salida del biodigestor, para posteriormente ser utilizados como abono en jardines, huertos o para aumentar la fertilidad de los suelos.

El dimensionado del tanque sería objeto un diseño futuro, ya que para poder llevar a cabo los cálculos sería necesario que el biodigestor estuviera en marcha.

5.2.9. Tubería para flujo de carga y descarga

El biodigestor está compuesto por 3 tubos principales, uno de ellos conecta el alcantarillado de la escuela al tanque de entrada, otro que conecta dicho tanque de entrada al biodigestor y por último el que lleva los lodos de fondo de biodigestor al tanque de compensación.

La tubería de conexión del alcantarillado al tanque de entrada del digestor será para verter el agua residual a dicho tanque, ya que los residuos orgánicos una vez procesados y mezclados con el agua, se verterán directamente al tanque sin necesidad de pasar por tuberías.

La tubería de carga que conecta el tanque de entrada al digestor es de extrema importancia que no se apoye en el fondo del biodigestor, evitando así que el material sedimentado lo obstruya y se recomienda tener un ángulo de 45°.

La tubería de descarga de los lodos es para hacer limpieza y mantenimiento del biodigestor, en el caso que haya algún tipo de obstrucción.

Se ha tomado la tubería de PVC de 100mm de diámetro para el diseño de los 3 tubos, según recomienda J.A. Guardado [11].

5.2.10. Tubería para el flujo de gas

El biogás producido en el biodigestor debe ser conducido a través de tuberías. Según J.A. Guardado [11] las tuberías de presión de PVC son más convenientes para esta finalidad, ya que son resistentes a la corrosión, son fáciles de instalar y conllevan un bajo coste, pero su inconveniente es que necesitan protección contra los rayos solares.

Para definir el diámetro de la tubería se tomará la distancia desde la planta hasta el lugar de consumo del gas, así también como del flujo máximo de gas requerido y de la pérdida de presión admisible. El flujo máximo del gas es posible calcularlo sumando los consumos de los equipos que funcionen simultáneamente. La Tabla 5.2 nos permitirá seleccionar la tubería en acorde al caudal de gas.

Para determinar la tubería, se sabe que en un día se produce un caudal diario de aproximadamente $8,4m^3$, que es equivalente a $0,35m^3/hr$. Por lo tanto, conforme a la Tabla 5.2 se seleccionará el tubo de 1/2 pulgada.

Caudal (m^3/hr)	1/2" 17mm	3/4" 23mm	1" 30mm	1 1/2" 43mm	2" 54mm
0,5	1,0	0,3	0,1		
1,0	2,5	0,7	0,2		
2,0	7,0	1,8	0,6		
2,5	9,9	2,5	0,8		
3,0	13,1	3,3	1,0	0,2	
4,0	20,7	5,2	1,6	0,3	
5,0	29,6	7,4	2,2	0,4	
6,0	29,7	9,8	2,9	0,6	
7,0		12,6	3,7	0,7	
8,0		15,7	4,6	0,9	0,3
9,0		19,0	5,6	1,0	0,4
10,0		22,6	6,6	1,3	0,5

Tabla 5.2: Tuberías de PVC según el Caudal. Fuente J.A. Guardado [11]

5.3. Puesta en marcha

Para llevar a cabo la puesta en marcha de un biodigestor se tiene una serie de requisitos operativos que por consiguiente aseguran su buen funcionamiento. Los principales aspectos que hay que tener en cuenta, según J.A. Guardado [11] son:

- Una vez finalizada la construcción, el digestor debe ser curado, es decir, llenarlo de agua sin carga orgánica durante diez o doce días.
- Mientras esté en la etapa de curado, se recomienda acumular toda la carga orgánica para que una vez finalizada, sea posible cargar el digestor rápidamente disponiendo de un volumen mayor de los residuos orgánicos necesarios.
- Una vez que el digestor esté lleno, no se debe adicionar más mezcla hasta pasados quince días, aproximadamente, ya que las bacterias metanogénicas no aparecerán hasta después de transcurridas las etapas de hidrólisis y acidificación.

- Es posible reducir el tiempo de puesta en marcha, utilizando un inóculo proveniente de otro digestor en operación donde ya existe la presencia de las bacterias metanogénicas.
- Se debe dejar abierta la válvula de salida del gas durante el período de espera para que se pueda escapar el aire.
- Una vez transcurrido el período de espera se cierra la válvula y se observa el nivel de agua en el tanque de compensación, que al generar el biogás suele desplazar el líquido y eleva el nivel del tanque hasta el desbordamiento.
- Se debe dejar escapar el gas inicial ya que puede ser explosivo y peligroso.

5.4. Operación y mantenimiento

Es importante tener en cuenta diferentes aspectos durante todo el período de operación, cómo:

- Si es posible conseguir diferentes mezclas de excrementos de animales, podrá mejorar la producción de biogás.
- Evitar que penetre tierra, arena o grava al interior del digestor, ya que dichos materiales no alimentan las bacterias metanogénicas y ocupan volumen.
- Evitar que se viertan restos de forraje y pajas, ya que este tipo de residuos pueden formar costras que impiden el movimiento del agua y también la salida del gas.
- Evitar la presencia de residuos de grasas, jabón, detergentes o antibióticos, porque pueden matar las bacterias metanogénicas.

Una vez en marcha es importante tener una frecuencia programada del mantenimiento, algunas de las tareas a realizar son:

- Eliminar la nata flotante.
- Eliminar los sólidos y lodos en el tanque de compensación y llevarlos a la zona de secado, que luego se aprovechará como abono.
- Comprobar el estado de las tuberías, si hay algún tipo de obstrucción.
- Comprobar la trampa de agua y la caja de control.
- Retirar los sedimentos que se encuentran en el fondo del biodigestor a cada 3-5 años.

5.5. Aspectos constructivos

En este apartado se describirán algunos aspectos constructivos del biodigestor de cúpula fija. En la Figura 5.3, se muestran los elementos principales utilizados para construir dicho biodigestor.

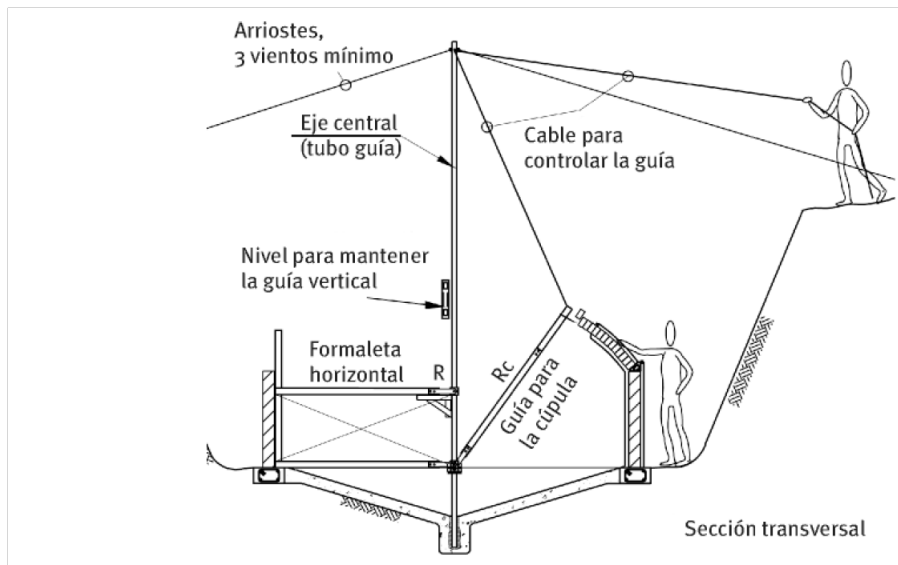


Figura 5.3: Ejecución de las principales partes del biodigestor. Fuente: J.A. Guardado [11]

5.5.1. Losa de cimentación

Una vez realizada la excavación, se procede a colar la losa, que por lo general se realiza manualmente.

Según J.A. Guardado [11], la nivelación de la superficie de terminación de la losa se efectúa con la ayuda de la escuadra de madera, acoplada al eje central. La losa de hormigón, tiene que poseer una resistencia mínima de 15MPa, para resistir a la compresión sometida. Además, debe ser impermeable, se consigue mediante la adecuada dosificación de los conglomerantes. La relación de la mezcla agua-cemento tiene que ser como mínimo, por cada parte de agua se añaden dos de cemento.

El colado de la losa se hará en un solo día, para que todo el hormigón posea la misma edad y se eviten juntas de colado. El vertido del hormigón se realiza por trozos, desde el centro hacia afuera, empleando la escuadra de madera permanentemente para lograr el control del nivel de las superficies.

5.5.2. Muro cilíndrico

Para conseguir construir el muro cilíndrico, se hace uso de una guía rectangular para determinar la correcta posición de cada ladrillo o bloque en el momento de levantar dicho muro, teniendo en cuenta los orificios de paso de las tuberías y el paso al tanque de decantación . En este proceso se suelen utilizar ladrillos de 20 o 15 cm de espesor, aunque también se pueden utilizar ladrillos de piedra, es importante asegurarse que se utilizará un material de buena calidad.

5.5.3. Viga de cerramiento

También denominada como viga anillo de refuerzo o viga de apoyo, su función es el de cierre del muro cilíndrico y a la vez servir de apoyo a la cúpula. Esta viga posee una forma triangular o trapezoidal, y se apoya uniformemente sobre el muro. Se cuela con hormigón armado con una resistencia de 20MPa[11]. Una vez que la viga esté colada en la superficie superior es importante que posea la debida inclinación, de manera que se logre el ángulo preciso donde se irá a construir los primeros hilos de ladrillo que conformarán la cúpula.

5.5.4. Cúpula

Es sobre la viga de cerramiento que se hace el primer hilo de ladrillos utilizando una guía formaleta para la cúpula. Según J.A. Guardado [11], el radio que se debe mantener se señalará en la formaleta mediante una puntilla clavada y bien aplomada en su canto inferior, de manera que indique la posición del interior en el que debe quedar colocado el ladrillo. Conforme se va poniendo cada ladrillo la formaleta se va moviendo a la posición del siguiente ladrillo que se colocará, y así sucesivamente. De tal modo se va conformando la cúpula y curvándose lentamente el muro hacia el interior y disminuyendo su abertura circular superior. Una vez que esta curvatura llegue a provocar el desprendimiento del ladrillo en el momento de su colocación, se emplearán entonces los ganchos de sujeción, que se van colocando sobre los ladrillos recién puestos, lo que evita que se desprendan.

5.5.5. Viga de cierre

Esta viga sirve para cerrar la cúpula y mantener el orificio necesario para poder acceder o inspeccionar el interior del biodigestor, además de ser la base del cuello.

Su sección sirve de elemento de cierre de la cúpula, manteniendo el orificio necesario en esta para el acceso o inspección al interior del biodigestor. Además está conformada de hormigón armado de una resistencia de 15-20MPa.

5.5.6. Cuello

El cuello tiene su construcción apoyada sobre la viga de cierre en la parte superior de la cúpula. Dicho cuello está construido por dos hilos de ladrillo hasta la altura donde va colocada la tapa de hormigón, que sirve como cierre hermético del biodigestor, el segundo hilo es más alargado en caso de colocar una tapa de protección.

5.5.7. Tapa de hormigón

Es a través de la tapa de hormigón del cuello que se garantiza el cierre hermético del biodigestor, por lo tanto es de extrema importancia que esté bien colada al ladrillo donde está apoyada, y luego recubrirla con mortero o arcilla. Para las demás tapas de hormigón es necesario tener en cuenta la seguridad, ya que dicho biodigestor estará instalado en la escuela. Generalmente dichas tapas son coladas en moldes hechos a medida. En el colado, se emplea hormigón con arena fina, también llamada gravilla, con resistencia de 15MPa, añadiendo una malla de alambre como refuerzo. Para mover y manipular las tapas fácilmente es importante prever en el colado la colocación de ganchos insertados que sirvan para el agarre.

5.5.8. Impermeabilización

En la parte interior de la cúpula y el cuello, donde se acumula el gas, se recomienda aplicar en la zona de acumulación de gas un revoco sobre el chapisco, para preparar la superficie para una posterior aplicación de impermeabilizante. La impermeabilización se consigue con la aplicación de pinturas esmaltes o sintéticas, que se debe aplicar una vez que la superficie esté seca, ya que sino podrían ocurrir desprendimientos, y se perdería su efecto hermético e impermeabilizador.

5.6. Aplicaciones del biogás

El biogás producido en el biodigestor tiene un valor teórico de $8,4m^3$ diarios, este biogás se puede utilizar de diferentes maneras, como se puede observar en el Anexo A en el plano 1, todo dependerá de la demanda local de energía. En este apartado, se plantearán los más comunes como son las cocinas de biogás, lámparas y motores. La eficiencia energética de la utilización de biogás es del 55 % en cocinas, del 30 % en motores, pero sólo del 3 % en lámparas. Una lámpara de biogás es solo la mitad de eficiente que una lámpara de queroseno.

La forma más eficiente de usar el biogás es en una combinación de energía térmica donde se puede alcanzar una eficiencia del 88 %. Sin embargo, esto solo es posible en

instalaciones más grandes donde se aplica la cogeneración de calor.

En la Tabla 5.3, se hace referencia a los gastos producidos según diferentes aplicaciones.

Aplicación	(m^3/h)
Cocina doméstica	0.2 - 0.45
Quemadores industriales	1 - 3
Refrigerador (100 L)	0.03 - 0.075
Lámpara de gas (Equiv.bombilla-60 W)	0.12 - 0.15
Biogás / Motor diésel	0.42
Generación de 1 kWh de electricidad (con biogás / mezcla diésel)	0.700

Tabla 5.3: Tasa de consumo según su aplicación. Fuente: Compendium of Sanitation Systems and Technologies [12]

Cocinas de biogás

Una cocina de biogás es un aparato relativamente simple para la combustión directa de biogás. Su quemador consiste en una premezcla y puertos de combustión con varios agujeros y opera a presión atmosférica. Una cocina de biogás típica consiste en un tubo de suministro de gas, válvula, chorro de inyector de gas, apertura de aire primario o regulador, garganta, tubo de mezcla de gas/colector, cabezal de quemador, puertos de quemador, soportes de olla y marco de cuerpo.

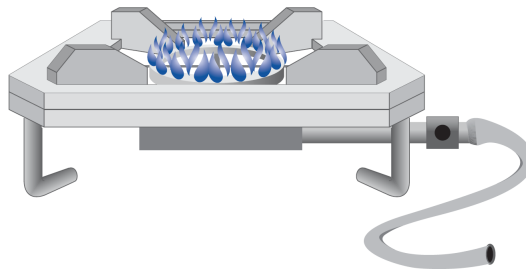


Figura 5.4: Cocina de biogás .[12]

El biogás entra en la cocina con una cierta velocidad que depende de la presión de gas y el diámetro de la tubería de suministro de gas. Con la ayuda de un inyector de chorro en la entrada de la cocina, la velocidad del gas se incrementa para producir un tiro para aspirar el aire primario. El gas y el aire se mezclan en el tubo de mezcla y dicha mezcla de gas entra en el cabezal del quemador. La mezcla de gas y aire sale del quemador a través de los puertos a una velocidad ligeramente superior a la velocidad de llama específica del biogás. Para la combustión completa del biogás, se extrae más oxígeno del aire circundante, llamado aire secundario.

Los principales parámetros para diseñar una cocina de biogás son la eficiencia y la seguridad, la facilidad de fabricación en masa y la rentabilidad. Para lograr una alta eficiencia, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Composición del gas
- Presión del gas
- Velocidad de llama
- Distancia de la olla al quemador

En general, la cocina debe cumplir los siguientes criterios:

- El tubo de entrada de gas debe ser maleable para minimizar la resistencia al flujo de gas y aire.
- El espaciado y el tamaño de los orificios de aire deben coincidir con el requisito de combustión del gas.
- El volumen del colector del quemador debe ser lo suficientemente grande como para permitir la mezcla completa de gas con aire.
- El tamaño, forma y número de orificios del quemador deben permitir el paso fácil del gas-aire mezcla, para que haya formación de la llama y combustión completa de gas.

A partir de la producción diaria de biogás en el biodigestor y tomando el valor de consumo alrededor de $0,45m^3/h$ por fuego según la Tabla 5.3, se podría cocinar durante aproximadamente 9 horas por día, logrando así mantener la demanda de la escuela.

Lamparás de biogás

El biogás puede quemarse en mantos de iluminación, la lámpara de biogás consiste en un tubo de suministro de gas, un regulador de gas, un chorro de inyector de gas, un orificio de aire primario, una boquilla de arcilla, un manto de seda, una pantalla de lámpara y una pantalla de vidrio.

El empleo de una lámpara de gas es similar al de la cocina. En una lámpara, el gas ardiente calienta un manto hasta que brilla intensamente. Los factores clave que determinan la eficiencia luminosa son el tipo y tamaño del manto, la presión del gas de entrada y la mezcla combustible-aire. El núcleo interno más caliente de la llama, debe coincidir exactamente con el manto. Si el cuerpo del manto es demasiado grande, mostrará manchas oscuras. Si la llama es demasiado grande, el consumo de gas será demasiado alto para el flujo de luz.



Figura 5.5: Imagen ilustrativa de la lámpara de biogás.[12]

Generador Eléctrico

Según Eawag [8], cada m^3 de biogás contiene el equivalente a 6-7kWh de energía de calefacción. Una vez que el caudal de biogás se convierte en electricidad en un generador eléctrico alimentado con biogás, se pueden obtener aproximadamente unos 12kWh de electricidad.

La escuela tiene una dependencia muy baja de energía eléctrica, ya que hace mucho uso de la luz natural y tampoco tiene nevera o ordenadores. Por lo tanto, en un principio se ha descartado la posibilidad de generar energía eléctrica. Debido a que, supondría altos gastos relacionados con los equipos para generar y almacenar esta energía.

5.6.1. Ahorro económico

Para poder calcular el ahorro económico, se han consultado los datos de consumos reales de la actual escuela, que a día de hoy tienen un gasto de aproximadamente 90 euros mensuales con carbón o leña. Para calcular los valores de la nueva escuela se ha tomado una ponderación de 3, resultando así un coste de 270 euros mensuales, totalizando a 3240 euros anuales en lo que se refiere al combustible. Como se ha comentado anteriormente, dicho valor hace referencia a un ahorro económico, ya que la demanda de la escuela estaría totalmente cubierta por la producción de biogás.

Capítulo 6

Conclusiones

Uno de los principales objetivos del proyecto era el diseño teórico de un biodigestor anaeróbico para conseguir proporcionar energía limpia y sostenible para una escuela en África. La implementación del biodigestor asegurará no solo el abastecimiento energético, sino también, el tratamiento de las aguas residuales y de los residuos orgánicos, lo que conlleva solucionar uno de los principales problemas relacionados con la salud y, disminuyendo así el factor de exposición a la pobreza.

Uno de los puntos más importantes es que la escuela a través de la generación de biogás ya no hará uso de combustibles fósiles en la cocina, haciendo uso solamente de una energía limpia y libre de contaminantes y, con eso, colaborando con una acción en pequeña escala por el clima.

Se conoce que todo el ahorro económico del cual se puede beneficiar la escuela proporcionará a más niños la posibilidad de tener acceso a una educación de calidad.

Los planos del biodigestor de tipo cúpula fija, elaborados a partir de los cálculos de diseño, contienen dentro de lo posible todas las especificaciones y detalles constructivos para llevar a cabo la construcción de dicho biodigestor.

Los criterios de puesta en marcha demostrados, mantenimiento y operación, asegurarán que una vez que haya finalizado la construcción, el biodigestor funcione de manera correcta y segura.

Para trabajos futuros, se podría considerar el desarrollo de los siguientes puntos:

- Recaudación de fondos para llevar a cabo el proyecto.
- El diseño del secado de los lodos, ya que es necesario llevar a cabo una vez que el biodigestor esté en funcionamiento, conociendo así la producción real de lodos a la salida de este.
- Montar un taller para poder realizar formaciones y capacitaciones en la escuela, a nivel de construir pequeños biodigestores caseros, para que más familias tengan acceso a una energía limpia y sostenible, a través del biogás.

Capítulo 7

Bibliografía

- [1] Milton Santos. *A urbanização brasileira*. EdUSP, 2013.
- [2] Wilkista Akinyi, Vane Aminga, Izael da Silva, Robert Ddamulira, Halima Hussein, Leo Kemboi, Martin Brown Munene, Muthoni Nduhiu, David Maina Njugi, Jesse Nyokabi, Sarah Odera, Jasper Omondi Oduor, Samuel Olteita Pere, Olofunso Somorin, Martha Wakoli, Charles Wang’uhu, and Tony Watima. *Energy for What? Comtemporary Energy Issues & Dilemmas in Kenya*. Society for International Development (SID), 2021.
- [3] BRIAN MALIKA. Ecologizando la cocina africana. *Project Syndicate Logo*, Marzo 2022.
- [4] George Tchobanoglous. *Sistema de Manejo de Aguas Residuales*. McGraw-Hill, 2000.
- [5] Comisión para la Cooperación Ambiental. *Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte*. 2017.
- [6] Prof. María Teresa Varnero Moreno. *Manual de Biogás*. Ministerio de Energía-Gobierno de Chile, 2011.
- [7] FAO. *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores*. Colección Documentos Técnicos N° 12. Buenos Aires, 2019.
- [8] Yvonne Vögeli, Christian Riu Lohri, Amalia Gallardo, Stefan Diener, and Christian Zurbrügg. *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries*. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Switzerland, 2014.

- [9] Carlos Augusto De Lemos Chernicharo. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1197.
- [10] J. Martí Herrero. *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*. GTZ-Energía, 2008.
- [11] José Antonio Guardado Chacón. *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*. Editorial CUBASOLAR, 2007.
- [12] Elizabeth Anne Tilley, Lukas Ulrich, Christoph Luthi, Philippe Reymond, and Christian Zurbrugg. *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*, volume 2. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and technology, Dubendorf, Switzerland, 2014.
- [13] Ivy League Academy, 2022.
- [14] Sandoz Internacional. Dangerous cooking – extinguishing the health risks of open flame stoves. *Fuente* : www.sa.sandoz.com/node/21376, 2018.
- [15] Rehfuess Eva. *Energía doméstica y salud, combustibles para una vida mejor*. 2007.
- [16] Heinz-Peter Mang and Zifu Li. Technology review of biogas sanitation : biogas sanitation for blackwater, brown water or for excreta and organic household waste treatment and reuse in developing countries. 2010.
- [17] Maria Bedran Leme Gaspar Rita. *Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de toledo-pr*. Trabajo fin de grado, Universidad de Santa Catarina, 2003.
- [18] Ministry of Energy. Kenya household cooking sector study. 2019.
- [19] Biomasa: Digestores anaerobios. *Fuente* : www.idae.es, 2007.
- [20] M.A.J. *La Agenda 2030 y los ODS: Nueva arquitectura para la Seguridad*. Departamento de Seguridad Nacional, 2019.
- [21] Gobierno de España. Ficha País Kenia. *Fuente* : <https://www.exteriores.gob.es/documents/fichaspais>, 2022.
- [22] Colaboradores de Wikipedia. Geografía y clima de kenia.
- [23] MINISTRY OF EAST AFRICAN COMMUNITY and REGIONAL DEVELOPMENT. About to kenya. *Fuente* : meac.go.ke/about-kenya/.

- [24] Karoline Tubben. História do quênia. *Fuente: hiafrica.com.br*, 2022.
- [25] GAG Wikipedia languages. Water supply and sanitation inkenya. 2022.
- [26] Dieter Deublein. Aidewise biogas plant for biogas production. *Munich University of Applied Sciences*, 2013.
- [27] Huong Nguyen, Scott Turgeon, and Joshua Matte. The anaerobic baffled reactor. *WPI*, 2010.
- [28] Bartolomeu de Souza Leticia and Pecci Lorene. Projeto de implantação de um biodigestor modelo fluxo tubular para a produção de biogás a partir de resíduos orgânicos do restaurante universitario da UTFPR Campus Ponta Grossa. Trabajo fin de grado, Universidad Tecnológica Federal do Paraná, 2021.
- [29] INC. METCALF & EDDY. *Ingeniería de Aguas Residuales*. MC Graw Hill, 1995.
- [30] Autodesk. Autocad, V.2021.
- [31] Marcos von Sperling and Carlos Augusto de Lemos Chernicharo. *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*. IWA Publishing, 2014.
- [32] E. Menya, Y. Alokore, and B. O. Ebangu. Biogas as an alternative to fuelwood for a household in uleppi sub-county in Uganda. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 2013.
- [33] Chongrak Polprasert. *Technology and Management*, volume 3. IWA, 2007.
- [34] J. W. Kaluli, C. Githuku, P. Home, and B. M. Mwangi. Towards a national policy on wastewater reuse in kenya. 2011.
- [35] UPM. *Comprehensive Overview of Biogas for Sanitation Options – Training of Trainers*. Umwelt-Projekt-Management GmbH and University of Science and Technology Beijing, 2021.
- [36] Joan Mata Alvarez. *Fundamentals of the Anaerobic Digestion Process*. IWA Publishing Company, 2003.
- [37] Sergio Martínez-Losa Del Rincón. Unofficial LaTeX template for reports/books/thesis with corporate logos of Universidad de Zaragoza with a beautiful look and feel. <https://github.com/sergiomtzlosa/latex-template-report-unizar>, 2021.

Lista de Figuras

2.1. Objetivos de desarrollo sostenible. Fuente: ONU	4
3.1. Imagen de la fachada de la actual escuela.	8
4.1. Biodigestor Modelo hindú, Fuente: Manual Biogás[14]	15
4.2. Biodigestor Modelo cúpula fija, Fuente: Manual Biogás[14]	16
4.3. Biodigestor Modelo flujo tubular, Fuente: Guía Biodigestor GIZ	17
4.4. Biodigestor Modelo horizontal, Fuente: Manual Biogás[14]	18
4.5. Biodigestor Modelo discontinuo, Fuente: Manual Biogás[14]	18
5.1. Esquema de las partes del biodigestor. Fuente: Elaboración propia.	20
5.2. Partes que forman el biodigestor de cúpula fija. Fuente: Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas [11]	23
5.3. Ejecución de las principales partes del biodigestor. Fuente: J.A. Guardado [11]	32
5.4. Cocina de biogás .[12]	35
5.5. Imagen ilustrativa de la lámpara de biogás.[12]	37
B.1. Alumnos de la unidad de Thika	53
B.2. Fachada de la unidad de Thika	54
C.1. Bandera oficial del Kenia. Fuente: Wikipedia[13]	55
C.2. División provincias de Kenia [11]	59

Lista de Tablas

4.1. Características generales del biogás, Fuente: Manual de Biogás [14] . . .	14
5.1. Adaptado de Comprehensive Overview of Biogas for Sanitation Options [9] y UPM [9]	21
5.2. Tuberías de PVC según el Caudal. Fuente J.A. Guardado [11]	30
5.3. Tasa de consumo según su aplicación. Fuente: Compendium of Sanitation Systems and Technologies [12]	35

Siglas y abreviaturas

EINA Escuela de Ingeniería y Arquitectura

HAP Household Air Pollution

DBO Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO Demanda Química de Oxígeno

COV Carga Orgánica Volumétrica

TRH Tiempo de Retención Hidráulica

TRS Tiempo de Retención de Lodos

ST Sólidos Totales

SV Sólidos Volátiles

SS Sólidos Suspendidos

PVC Policloruro de vinilo

HDPE Polietileno alta densidad

PPR Polipropileno

AEAS Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento

ODS Objetivos de Desarrollo Sostenible

SDG Sustainable Development Goals

ONU Organización de las Naciones Unidas

OMS Organización Mundial de la Salud

JMP Joint Monitoring Programme - Programa Conjunto de Monitoreo para el Abastecimiento de Agua y el Saneamiento

CCA Comisión para la Cooperación Ambiental

SID Society for International Development

UASB Upflow Anaerobic Sludge Blanket - Reactor anaerobio de manto de lodo de flujo ascendente

LPG Gases Licuados del Petróleo

KSH Chelín Keniano

N₂ Nitrógeno

O₂ Oxígeno

CO₂ Dióxido de carbono

SO₂ Azufre

H₂ Hidrógeno

CH₄ Metano

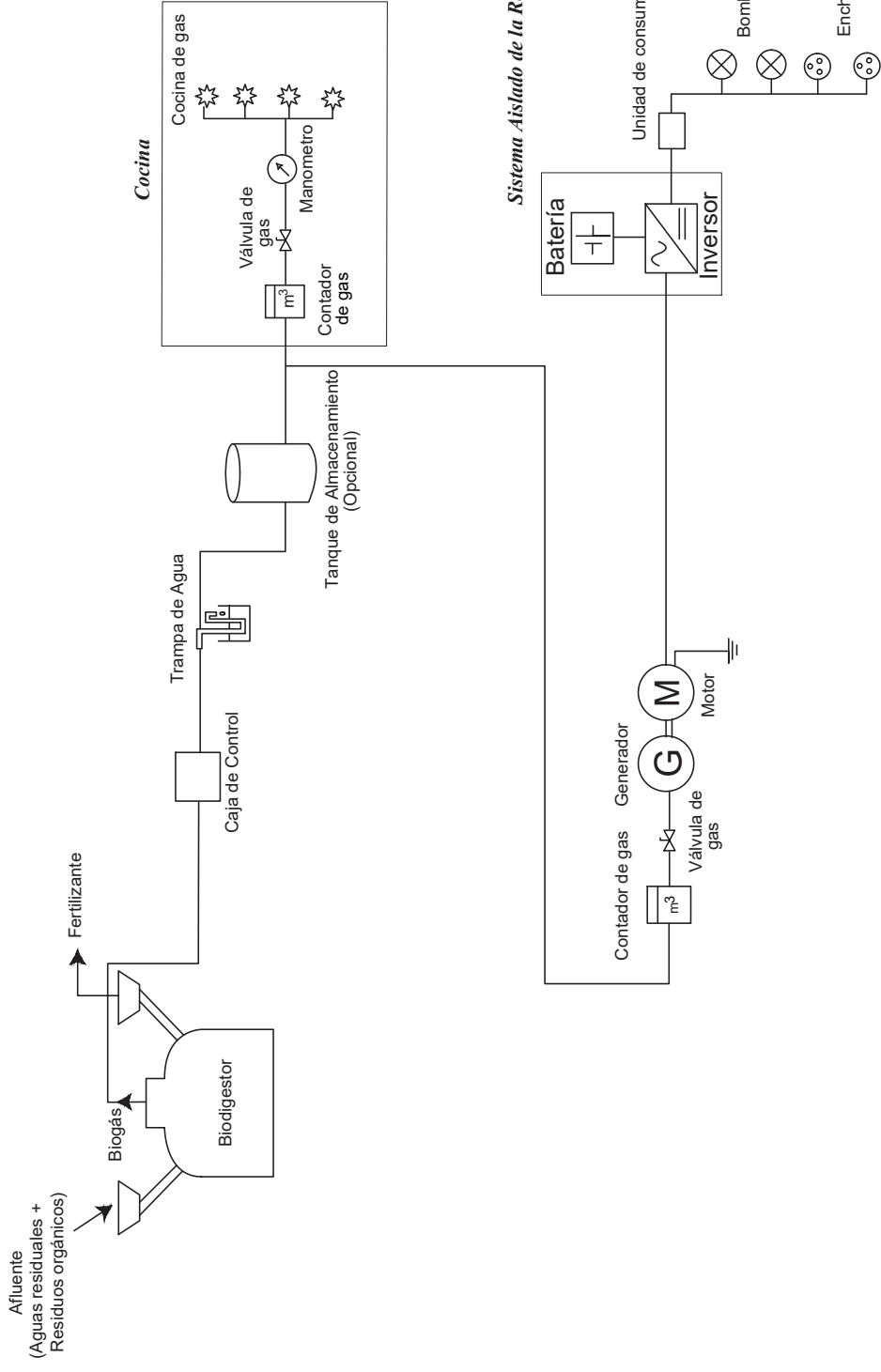
H₂S Ácido sulfhídrico

Anexos


Anexos A

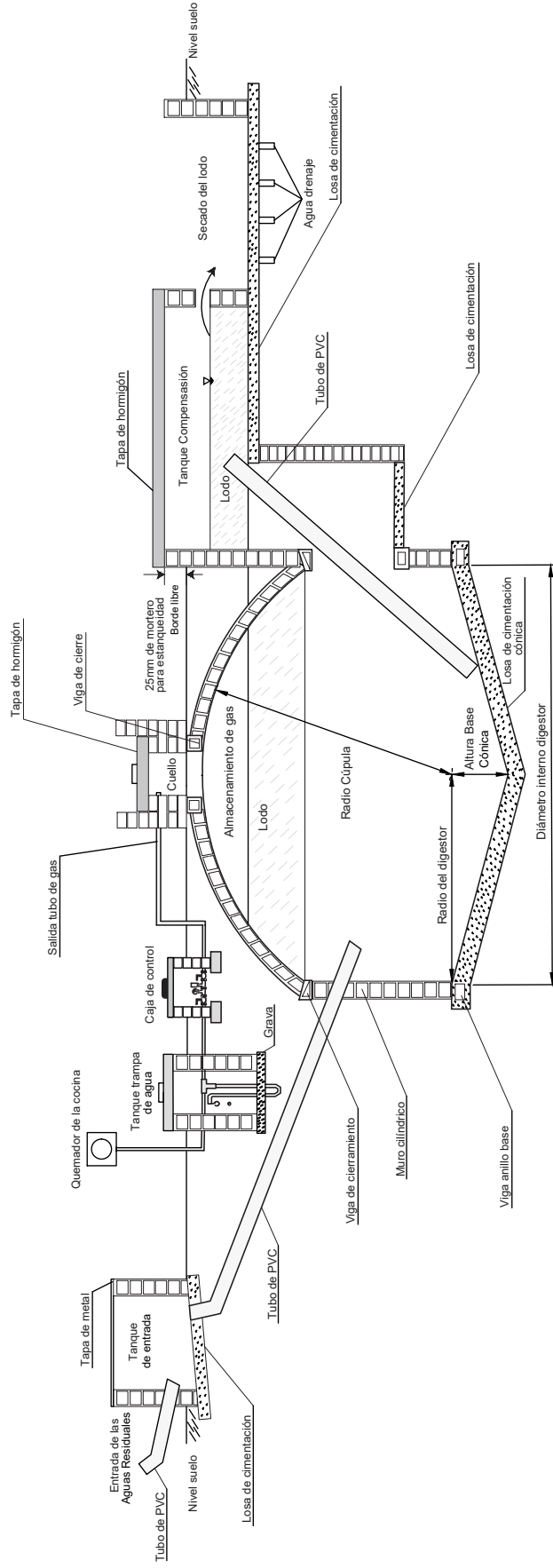
Planos del biodigestor

- A.1. Esquema del sistema
- A.2. Esquema dibujo biodigestor cúpula fija
- A.3. Dimensiones del biodigestor
- A.4. Partes constructivas del biodigestor
- A.5. Caja de control y tanque trampa de agua



NOTA: Solamente para referencia.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza <small>1542</small>			
		Grado en Ing. Mecánica	
Dibujado	01/11/2022	Mariana Morao Santos	
Titulo		<h2>Esquema del Sistema</h2>	
Plano N° 1			

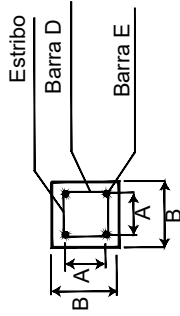


NOTA: Solamente para referencia.

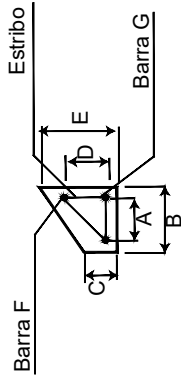
Fecha	Nombre
01/11/2022	Mariana Morao Santos
Dibujado	
Título	Esquema Dibujo Biodigestor Cúpula Fija
	Grado en Ing. Mecánica
	Plano Nº 2

Vigas de Refuerzo

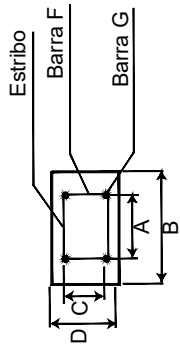
Viga de anillo superior



Viga de anillo refuerzo base cúpula

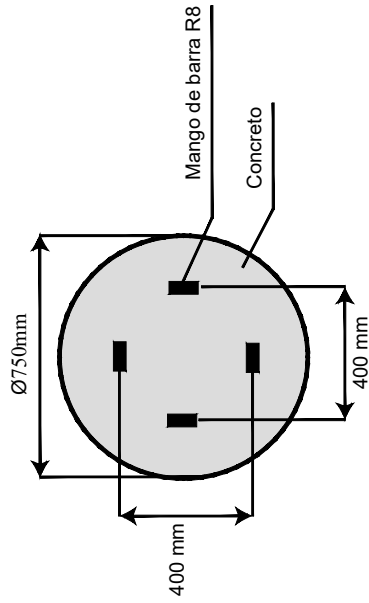


Viga de anillo base

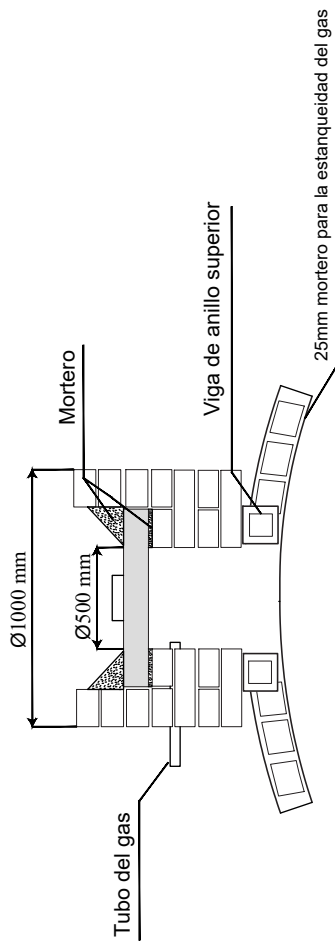


Descripción	A mm	B mm	C mm	D mm	E mm	F mm	G mm	Estribo mm
Viga de cierre	100	150	-	-	-	R6	R8	200
Viga cerramiento	100	150	60	100	170	R6	R8	300
Viga de anillo base	100	250	100	150	300	R6	R8	300

Tapa Cuello



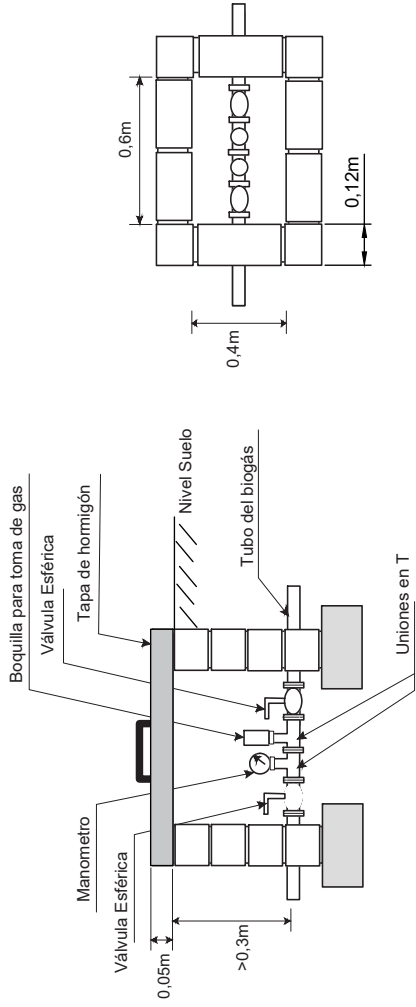
Cuello Digestor



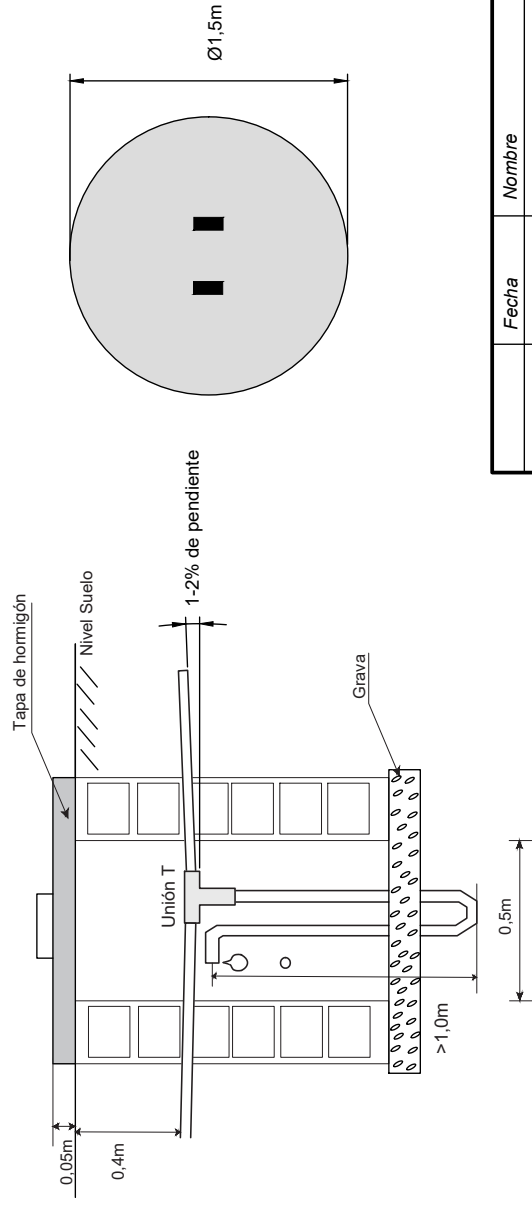
NOTA: Solamente para referencia.

		Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza		
		Grado en Ing. Mecánica		
Dibujado	Fecha	Nombre	Partes Constructivas del Biodigestor	
01/11/2022	Mariana Morao Santos	Mariana Morao Santos		
Título			Plano N° 4	

Caja de control



Tanque para trampa de agua



NOTA: Solamente para referencia.



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

Fecha
01/11/2022

Nombre
Mariana Morao Santos

Grado en Ing. Mecánica

Título
Caja de control y Tanque para trampa de agua

Plano Nº 5

Anexos B

¿Cómo ayuda la organización?



Figura B.1: Alumnos de la unidad de Thika

Ivy League Academy es una organización para dar a los niños nacidos en la pobreza extrema en Kenia un cambio para ir a la escuela y convertirse en algo en la vida.

El lema es: ¡Todo niño merece una oportunidad! Sí, todo niño, por pobre que sea, merece una oportunidad de recibir una buena educación para moldear su vida.

Actualmente, se atiende a 128 niños en la unidad de Thika y a 24 en la de Masai Mara. En Thika, servimos a niños de los barrios marginales más grandes como Kiandutu, Gachagi, Athena y Kiganjo. La Ivy League Academy Masai Mara está dando una oportunidad a una comunidad de Masai que antes no tenía servicios, quizás la tribu con los niveles de analfabetismo más altos de Kenia.

La política es no dejar ningún niño atrás.

La visión que tiene la organización es la de un mundo libre de pobreza, miedo y opresión. Un mundo donde todos sean tratados con dignidad y respeto. Desde hace más de 3 años trabajamos con niños en extrema pobreza con un objetivo: transformar sus vidas.

¿Qué hace la organización?

Identifican a niños necesitados que no asisten a la escuela y se les conecta con un patrocinador potencial. Dicho patrocinador tendrá una lista corta para elegir a un niño, ya que, para mantener un niño en la escuela con todos los requisitos, incluido un almuerzo caliente, se supone un coste mínimo de US\$35 mensuales.

¿Cómo ayudar?

1. Apadrinando a un niño:

https://www.paypal.com/donate/?hosted_button_id=HAGQHKCD89J24

2. Voluntariado en persona en Thika o Masai Mara:

+254 794588136

3. Siguiéndonos en las redes sociales:

www.instagram.com/ivyleagueacademythika



Figura B.2: Fachada de la unidad de Thika

Anexos C

Información General de Kenia

Nombre Oficial:	República de Kenia
Superficie:	591.958 <i>km</i> ²
Población:	54.986.000 habitantes
Capital:	Nairobi
Idioma:	Inglés y Suajili
Moneda:	Chelín keniano (KES)

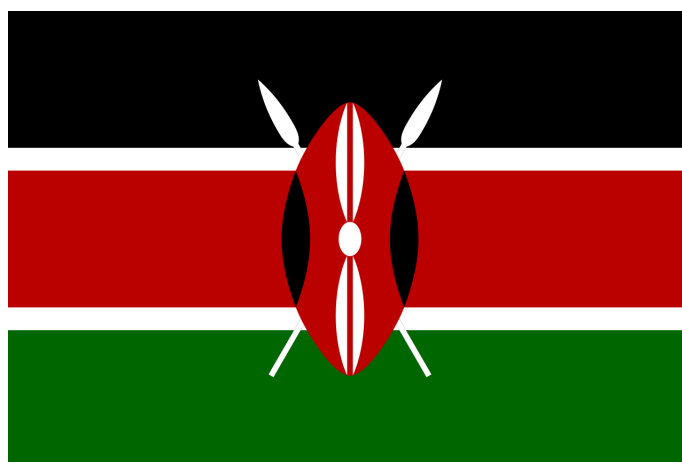


Figura C.1: Bandera oficial del Kenia. Fuente: Wikipedia[13]

C.0.1. Geografía y Clima

Kenia, o por su nombre oficial, República de Kenia está ubicado en África oriental, un país de mayor parte interior que esta extendido en ambos lados del Ecuador y comparte limites al norte con Sudán del Sur y Etiopía, al sur con Tanzania, al este con Somalia y el Océano Índico y al oeste con Uganda y el Lago Victoria.

El país tiene una gran variedad geológica: la costa, de 536 km de longitud a lo largo del Océano Indico; una vasta extensión de 200.000 km² de desierto árido o semi árido

en el norte; las tierras altas centrales, que ocupan una meseta de terreno fértil y con densas áreas forestales; las montañas de los Aberdares y el Monte Kenia, que se eleva hasta 5.199 metros sobre el nivel del mar por lado hay el Valle del Rift, al oeste del país, que atraviesa el país de norte a sur y también una extensa zona de sabana y matorral, que se extiende entre la costa y el Valle del Rift y donde se encuentran los parques naturales de Tsavo, Amboseli y Masai Mara y, por último, la franja occidental donde se encuentra el volcán extinto Monte Elgon de 4.321 metros de altitud fronterizo con Uganda y, un poco más al sur, el Lago Victoria.

En cuanto al clima de Kenia es muy variable, desde muy frío a muy cálido. En líneas generales, hay tres tipos de clima: cálido y húmedo a lo largo de la costa; templado en el oeste y sudoeste, en las tierras altas, y seco y caluroso en el este y nordeste, en las zonas bajas áridas y semiáridas. Curiosamente, aunque Kenia se encuentra en el ecuador terrestre, comparte el clima del hemisferio sur, con temperaturas máximas en invierno.

El periodo más cálido va de febrero a marzo, y el más fresco de julio a agosto, aunque las variaciones son pequeñas en este sentido. El paso del sol por el equinoccio y el cambio de los vientos en ese periodo propicia dos estaciones: de octubre a marzo los vientos (Kaskazi) llegan desde Arabia, al nordeste, mientras que de abril a septiembre son más frescos y húmedos (Kuzi) y llegan desde el océano Índico. Las lluvias de larga duración se producen entre marzo y mayo, y las más intensas y cortas, entre octubre y diciembre.

C.0.2. La historia de Kenia

Antes de la invasión europea, las comunidades nativas de Kenia se organizaban de manera rural y producían para su subsistencia. Al igual que en otras sociedades africanas, los grupos en Kenia llevaban un estilo de vida comunitario, es decir, el trabajo se realizaba en forma cooperativa y limitado a la familia. Como consecuencia de esto, la ganancia no era considerable, limitando el desarrollo comercial. En ausencia del individualismo liberal occidental, las comunidades no estaban divididas en clases además, las segregaciones étnicas no eran tan sólidas como en otros lugares ni divergían con las desigualdades sociales.

Después de la colonización británica, con la presencia del Reino Unido en el territorio ahora conocido como Kenia se inició a finales del siglo XIX, más precisamente en 1888, cuando se instaló en la región la British Imperial East Africa Company. La vena comercial del colonialismo británico fue su característica definitoria, ya que las actividades afrobritánicas comenzaron a mediados del siglo XVI, cuando la Corona concedió a las empresas británicas el monopolio del comercio en ciertas regiones. Desde

el siglo XVIII en adelante, se permitió a los comerciantes individuales comerciar con territorios africanos. Primero, se cobraba una tasa a pagar a la Royal African Company, sin embargo, a partir de 1726, el gobierno británico declaró el continente africano abierto a todos los ciudadanos.

Tras el dominio del dominio colonial, una de las características destacadas de la presencia británica en Kenia fue la apropiación de tierras nativas, ya que, a diferencia de otros territorios bajo el régimen inglés, la región no contaba con abundantes reservas minerales. Mediante la imposición de una serie de impuestos abusivos, los kenianos se vieron obligados a someterse a trabajar para los colonos británicos o ser castigados con trabajos forzados por no pagar impuestos. El objetivo, logrado, de esta manipulación fue asegurar mano de obra barata para sostener el desarrollo económico británico. Finalmente, en 1913, se consolidó el monopolio del uso de la tierra por parte de los colonos, cuando el gobierno del Reino Unido aprobó una ley que otorgaba a la población británica en Kenia arrendamientos de 999 años.

Después de la Primera Guerra Mundial, las insatisfacciones de los colonizados hierven exponencialmente, ante la carga exploratoria de los impuestos. A lo sumo $\frac{1}{4}$ de los ingresos estaba legalmente autorizado para ser utilizado en servicios dirigidos exclusivamente a la población negra. Otro punto fue el trato indigno de los empleados kenianos por parte de sus empleadores británicos, quienes justificaron los abusos argumentando que los negros eran niños a los que había que disciplinar. Como resistencia a la opresión inglesa, erosionó el Levantamiento de Mau Mau en el período comprendido entre 1952 y 1960. El grupo militante era un retrato del nacionalismo keniano emergente, visto por los europeos como una especie de "tribalismo perverso guiado por una combinación de impulsos bestiales e influencia comunista".

Al principio, la resistencia armada tuvo como objetivo a los ciudadanos kenianos que colaboraban con el régimen colonial, y rápidamente se convirtió en una serie de ataques contra los colonos. En respuesta, se declaró un estado de emergencia en el que estaba vigente una política de desalojo de grupos étnicos asociados con el Mau-Mau. En estas tierras, por lo tanto, se instalaron campos de concentración para procesar a los sospechosos, donde se utilizaron diversos métodos de tortura que ahora se consideran crímenes de guerra para recopilar información (EL MAU-MAU..., 2018). El número de muertes causadas por la respuesta británica, aproximadamente 20.000 hombres, mujeres y niños fueron asesinados durante este período.

Después de la Independencia, aunque las organizaciones políticas africanas fueron prohibidas durante el período de la revuelta de Mau-Mau, a partir de la década de 1960 estos partidos creados décadas antes se fortalecieron y florecieron. En respuesta a los movimientos nacionalistas en el continente el año 1960 es considerado por la ONU

el Año de África, por la ola de descolonizaciones conquistada, el ex primer ministro británico, Harold Macmillan, afirmó que las colonias cuyos gastos superaban los se debe renunciar a las ganancias. Así, al ser considerado desechable en la visión inglesa, Kenia obtuvo su independencia de manera transaccional. Durante 1962 y 1963, la Unión Nacional Africana de Kenia y la Unión Democrática Africana de Kenia se articularon para formar un gobierno de coalición en el que Jomo Kenyatta, un activista involucrado y encarcelado durante el Levantamiento de Mau Mau, fue elegido primer ministro. El 12 de diciembre de 1963, Londres anunció que Kenia se convertiría en un estado independiente .

C.0.3. Política Interior y organizacional

Después el 12 de diciembre de 1963 cuando Kenia se convirtió en República, su gobierno pasó a está constituido por tres poderes: el Legislativo, el Ejecutivo y el Judicial. Cada poder es independiente del otro y sus funciones individuales están establecidas por la Constitución de Kenia.

El poder ejecutivo está compuesto por el presidente, el cual ejerce los poderes ejecutivos como jefe de estado y de gobierno. El gabinete está conformado por el vicepresidente y los 22 secretarios de gabinete, los cuales se encargan de los distintos ministerios. Las reuniones de gabinete se llevan a cabo con la presencia del Fiscal General.

El poder legislativo está compuesto por el Senado y la Asamblea Nacional, las cuales componen el Parlamento bicameral de Kenia.

El poder judicial es independiente de los demás poderes del gobierno, este está encabezado por el Presidente del Tribunal Supremo, el cual tiene la responsabilidad de interpretar la Constitución. Las decisiones de este último son definitivas e inapelables. El Poder Judicial está encargado de aplicar y hacer respetar las leyes. Esto se hace a través de un sistema legal que consta de tribunales.

En cuanto la organización territorial, la República de Kenia está dividida en 8 Provincias:

1. Provincia Central
2. Provincia Costera
3. Provincia Oriental
4. Provincia Nairobi
5. Provincia Nororiental

6. Provincia Nyanza
7. Provincia Rift Valley
8. Provincia Occidental

La Constitución prevé una nueva distribución de competencias a nivel local aún pendiente de desarrollo legislativo y en 47 condados.

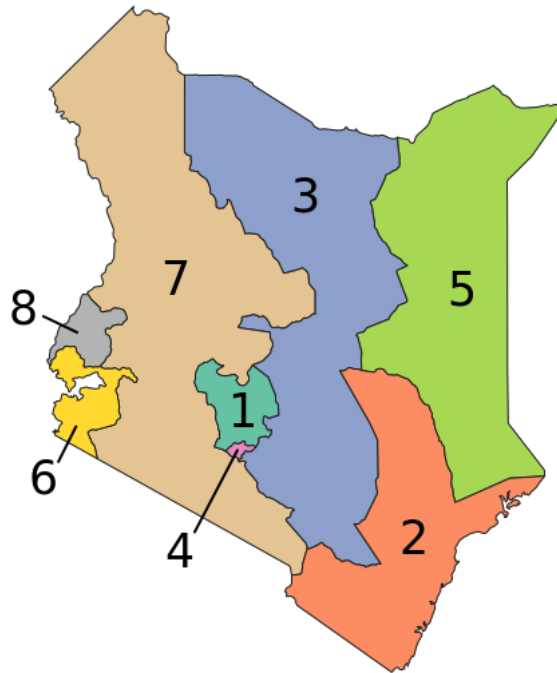


Figura C.2: División provincias de Kenia [11]