

*Universidad de Matanzas “Camilo
Cienfuegos” Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de Química e Ingeniería
Química*



*TÍTULO: “La energía eólica y la
eficiencia de la digestión anaerobia”*

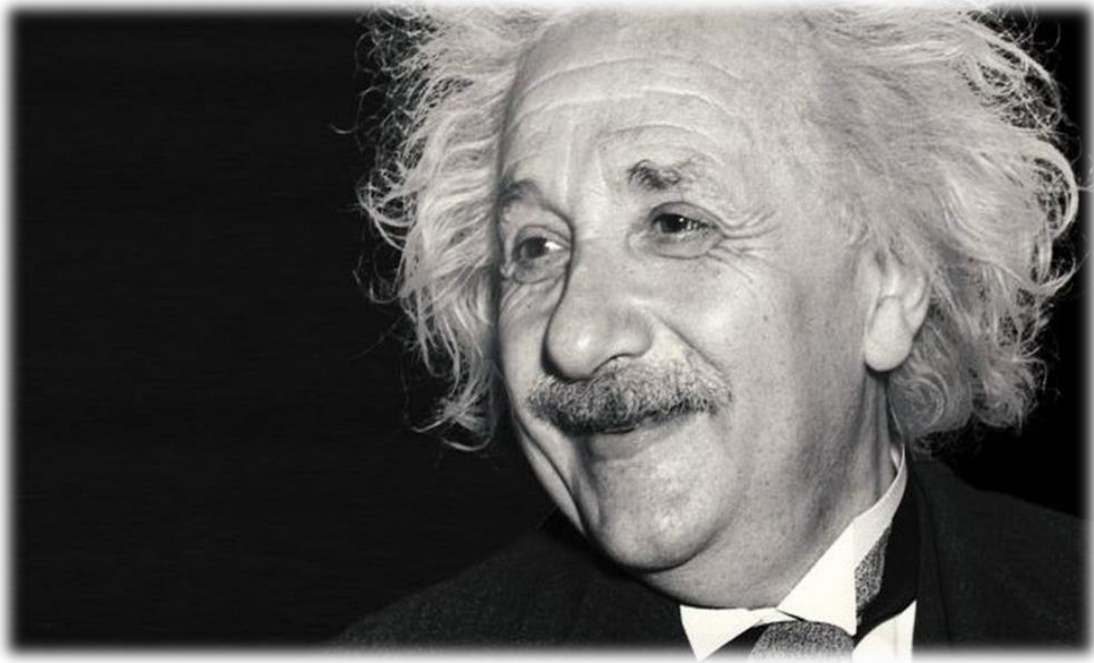
**TRABAJO DE DIPLOMA EN INGENIERÍA
QUÍMICA.**

Autor: Naylí Milagro Rodríguez Licea

Tutor: Ms.C José Venancio Sánchez Rodríguez

Matanzas, 2019

PENSAMIENTO



“La energía no se crea, siempre existe, y no se destruye, solamente se transforma por medio del pensamiento o voluntad de quien la maneja”

Albert Eintein

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Nayli Milagro Rodríguez Licea, declaro ser el único autor de este Trabajo de Diploma y, en calidad de tal, autorizo su consulta a otras instituciones, a los profesionales, técnicos y a cualquier persona, de forma general, que lo necesite así como también pongo a disposición de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” para hacer uso del mismo con el objetivo y finalidad que estimen más conveniente. Queda prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autoridad del autor o del tutor.

Firma: _____

Nayli Milagro Rodríguez Licea
Facultad de Ciencias Técnicas.
Universidad de Matanzas.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Tribunal

Firma

Miembro del Tribunal

Firma

Miembro del Tribunal

Firma

Provincia: _____ Fecha: _____ Calificación: _____

DEDICATORIA

A quien más, sino a ti...por ser mi motor impulsor, por confiar en mí en todo momento, por apoyarme, por fortalecerme, por creer en mí cuando nadie más lo hizo y convencerme de que yo si podía, por ser mi aire, mi guerrera y mi ejemplo, porque solo tú sabes el gran sacrificio que has hecho durante todos estos años para lograr mis sueño, porque contigo todo ha sido más fácil. Por esto y mucho más es que te regalo este momento de mi vida, mamá.

A mi abuela Benigna donde quiera que te encuentres, por ser nuestro ángel de la guarda.

AGRADECIMIENTOS

- A mis padres por su apoyo incondicional, quienes fueron mi motivación para desarrollar este proyecto sin desfallecer y valoro inmensamente el esfuerzo que ellos hicieron para lograr llevarlo a cabo, en especial a ti mamá por tu luz, los amo.
- A ti Titi por ser otro padre para mí, hoy me siento muy feliz de poder darte este regalo.
- A mi tutor, Venancio, por su paciencia, generosidad y dedicación. Muchas gracias por confiar en mí para este trabajo.
- A mi hermana Naydí y Carlos por ser parte indispensable de este proceso y apoyarme.
- A mi tía Damarys por estar pendiente desde el día uno, gracias por tanta ayuda.
- A ti mi amor Amp, que llegaste justo en ese momento y te has quedado a mi lado a pesar de la distancia AI-NAI.
- A todos los profesores que integran esta disciplina y que ayudaron a mi formación, gracias a su compromiso y rectitud, hoy ya podré ser una profesional.
- A mis amigos de siempre y a los que conocí en esta nueva etapa de mi vida, en especial a ti Yoislan por tanta ayuda y dedicación...

A todos, muchas gracias.

RESUMEN

El presente trabajo surge como una posible solución a un problema ambiental de gran importancia, el cual ofrece una vía para el tratamiento de los residuos sólidos de origen orgánico y la obtención de energía a partir de una fuente renovable, donde se exponen los resultados de un estudio para el empleo de la digestión anaerobia en la producción de biogás a través de residuales de origen animal en la comunidad de Camarioca. Tiene como objetivo el diseño de un sistema que mejore la eficiencia de los biodigestores de primera generación con el uso de un sistema mecánico de agitación a partir de la energía eólica. Ofrece una metodología apropiada a nivel práctico para contribuir a la disminución de la contaminación ambiental y generar energía de forma sustentable, mediante la adecuación de las actividades humanas a las características ambientales de su área, sus potencialidades y sus límites, y capacitar a las personas sobre las ventajas y desventajas del tratamiento de los residuos y la generación de energía a partir de fuentes renovables. Para esto se realizó una investigación fundamentada en métodos teóricos, empíricos y estadísticos que permitieron la recogida y procesamiento de datos para establecer la propuesta de solución al problema declarado.

Palabras claves: contaminación ambiental, fuentes renovables de energía, tratamiento de residuos.

ABSTRACT

The present work arises like a possible solution to an environmental problem of great importance, which offers a road for the treatment of the solid residuals of organic origin and the energy obtaining starting from a renewable source, where the results of a study are exposed for the employment of the digestion anaerobia in the biogás production through residual of animal origin in the community of Camarioca. It has as objective the design of a system that improves the efficiency of the biodigestores of first generation with the use of a mechanical system of agitation starting from the eolic energy. Offers a methodology appropriate at practical level to contribute to the decrease of the environmental contamination and to generate energy in a sustainable way, by means of the adaptation of the human activities to the environmental characteristics of their area, their potentialities and their limits, and to qualify people on the advantages and disadvantages of the treatment of the residuals and the energy generation starting from renewable sources. For this he/she was carried out an investigation based in theoretical, empiric and statistical methods that allowed the collection and prosecution of data to establish the solution proposal to the declared problem.

Words key: environmental contamination, renewable sources of energy, treatment of waste.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo 1. Revisión Bibliográfica	4
1.1. Situación energética mundial.	4
1.2 Fuentes de energía renovable en Cuba.	5
1.3 Aerogenerador de eje horizontal y vertical. Molinos multipalas y aerogenerador Savonius.....	6
1.4 Digestión anaerobia. Etapas.	7
1.4.1 Factores Influyentes en la Digestión Anaerobia.	9
1.5 Cinética química. Sistema de agitación en reactores.	12
1.6 Biogás su obtención y aplicación.	13
1.7 Biogás su obtención y aplicación.	14
1.8 Elementos constructivos de un biodigestor.	17
1.9 Parámetros de diseño de un biodigestor.	18
Conclusiones Parciales del Capítulo 1	20
Capítulo 2. Materiales y métodos.	21
2.1 Diseño del biodigestor.....	21
2.2 Balance de masa en el biodigestor.	24
2.2.1 Dimensionamiento del registro de carga, de compensación y de evacuación de lodos sedimentados.	26
2.3 Selección de los materiales para la construcción del biodigestor de cúpula fija.	28
2.4 Cálculos de la masa de virutas de hierro a emplear en el filtro para eliminar el sulfuro de hidrógeno.	29
2.5 Formulación de la entrevista.	30
2.6 Valoraciones de la viabilidad económica de la construcción del biodigestor de cúpula fija y determinación del costo de construcción	31
2.7 Cálculos para el rendimiento y diseño de un aerogenerador Savonius	38
Capítulo 3 Análisis de los Resultados.....	39
3.1 Resultados de la entrevista.	39
3.2 Resultados del diseño del biodigestor	40
3.3 Resultado del balance de masa en el biodigestor.....	42
3.4 Resultado del dimensionamiento del registro de carga, de compensación y de evacuación de lodos sedimentados.	43
3.5 Resultado de la masa de virutas de hierro a emplear en el filtro para eliminar el sulfuro de hidrógeno.	44
3.6 Determinación del costo de construcción del biodigestor de cúpula fija.....	45
3.7 Determinación del valor de la producción del biodigestor.	63
3.8 Cálculos para el rendimiento y diseño de un rotor Savonius.	64
Conclusiones Parciales del Capítulo 3.....	66
Conclusiones	67
Recomendaciones	68
Referencias Bibliográfica.....	69
Anexos	75

INTRODUCCIÓN

La humanidad actualmente, debido a su acelerado crecimiento, se enfrenta a desafíos como la escasez de alimentos, la sequía, desertificación, pérdida de la fertilidad de los suelos, incremento del efecto invernadero, aumento del diámetro del agujero de la capa de ozono y el agotamiento de las reservas naturales económicamente explotables.

Estos problemas demandan imperiosamente la conservación de los ecosistemas naturales por lo que se hace preciso mantener un uso sostenible de los mismos. Para ello es necesario que este uso se corresponda con las verdaderas necesidades humanas de las presentes generaciones, como condición indispensable para salvaguardar la satisfacción de las futuras (López., 2002, citado por Pedro., 2018).

Las fuentes renovables de energía como la energía eólica y la biomasa, entre otras; así como sus tecnologías y aplicaciones, ofrecen un mayor desarrollo técnico-comercial que disminuyen los consumos de electricidad, gas y otros portadores energéticos con la menor afectación posible al medio ambiente y menores consumos de energía. Con este amplio diapasón, no hay duda de que la meta del 100% con energías renovables es un sueño alcanzable.

Cuba no está exenta a estas temáticas por lo que, desde hace varios años, ha puesto en práctica una serie de medidas en aras de disminuir los efectos nocivos sobre la atmosfera producto de la actividad y el desarrollo tecnológico del ser humano, lo cual se ve reflejado en la política económica y social del país. Entre estas medidas se encuentra el uso de la biomasa como fuente de energía renovable, con la finalidad de disminuir el empleo de otras fuentes de energías no renovables y el impacto negativo al medio ambiente.

El desarrollo agrícola y ganadero para incrementar la producción de Alimentos genera gran cantidad de residuos que constituyen contaminantes de alta carga orgánica, cuya disposición directa al medio ambiente provoca la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, y genera también una contaminación atmosférica de consideración por la emisión de gases de fuerte efecto

invernadero, como es el caso del metano, cuyo efecto es 21 veces superior al del dióxido de carbono. Estos residuos forman la denominada Biomasa, que presenta alto valor agregado y constituye una importante fuente de energía renovable, utilizada en el mundo, para la producción de biogás y la gasificación con fines energéticos, ya sea para el transporte, para la cocción de alimentos, alumbrado, co-geración de electricidad, producción de vapor y sistemas de refrigeración por absorción. Hilbert, J. 2009

Esta es la política seguida en el tema de la aplicación de la digestión anaerobia para el tratamiento de los residuales de la cría de animales domésticos en cautiverio con el fin de disminuir el volumen de contaminantes emitidos directamente al medio, incidir en la protección de la cobertura boscosa y en la obtención de combustible doméstico y bio-fertilizante, con lo cual también se mejora la calidad de vida de los miembros de la comunidad que participan directamente en el proceso de construcción de biodigestores, con la introducción de modificaciones a los modelos clásicos de biodigestores de cúpula fija a fin de mejorar su funcionamiento y hacer más económica su construcción, y mejorar de esta forma el tratamiento de los residuos sólidos y su aprovechamiento en la generación de energía de forma renovable, contribuyendo a la protección del medio ambiente y la seguridad económica de los productores de forma sustentable. (Sánchez. J, 2003)

En los últimos tiempos la producción de biogás representa una alternativa energética que toma gran auge por su factibilidad técnico-económica y su implementación ocupa un lugar fundamental en los lineamientos de la política ambiental de la Nación cubana.

Considerando el beneficio que se puede obtener a partir de la producción de energía por medio de biodigestores, es de importancia emprender el montaje de éstos en aquellos lugares donde se dispone de la materia prima necesaria para su funcionamiento, y hacer modificaciones dirigidas a perfeccionar y aumentar su eficiencia; razón por la cual en el presente trabajo, se muestran las pautas necesarias para realizar el diseño de un biodigestor, habiéndose seleccionado en este caso un biodigestor de cúpula fija con un rotor eólico tipo Savonius, cuyo

fin es mover un agitador mecánico que aumenta el contacto de la biomasa con las bacterias, aumentando la velocidad de la digestión anaeróbica y el rendimiento del sistema. El diseño se ha orientado hacia el aprovechamiento de residuos orgánicos provenientes de un alojamiento pecuario para cerdos (porqueriza) [Acevedo 2006., Ramón *et al.*, 2006].

Según lo citado anteriormente, se plantea como **Problema** de la investigación: ¿Cómo aumentar la eficiencia de la digestión anaerobia en un biodigestor de primera generación mediante el uso de la energía eólica?

El trabajo responde de manera general a la solución de la siguiente **Hipótesis**: Si se diseña un rotor eólico de eje vertical adecuado que permita utilizar la energía eólica, puede construirse un agitador mecánico que aumente la velocidad de las reacciones en los procesos de digestión anaeróbica en los biodigestores de primera generación, aumentando su eficiencia.

Se concibe como **objetivo general**: Diseñar un sistema que mejore la eficiencia de los biodigestores de primera generación con el uso de un sistema mecánico de agitación a partir de la energía eólica.

Se exponen como **objetivos específicos**:

1. Realizar un estudio sobre el estado del arte, relacionado con el uso de la energía renovable, el tratamiento de residuos orgánicos y los factores que influyen en el proceso de digestión anaerobia.
2. Caracterizar la zona donde se realiza el estudio desde el punto de vista de la cantidad de residuos sólidos orgánicos generados, su efecto contaminante y las condiciones del flujo del viento y su velocidad media anual.
3. Proponer un sistema de agitación mecánica a partir del uso de un rotor eólico modelo Savonius para aumentar la eficiencia de los biodigestores de primera generación.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se expone la producción de biogás y diseño de biodigestores como forma de tratamiento de residuos sólidos y producción de energía.

El biogás es una mezcla de gases que se obtienen como resultado de la digestión anaerobia de la materia orgánica, ocasionada por la acción combinada de un grupo de bacterias (Almeida, 2012).

La significación práctica de la presente investigación consiste en el diseño de un sistema que combina el uso de dos fuentes de energía renovable, con el fin de mejorar el funcionamiento de los biodigestores de primera generación para el tratamiento de los residuos sólidos y su aprovechamiento en la generación de energía de forma renovable, contribuyendo a la protección del medio ambiente y la seguridad económica de los productores de forma sustentable.

1.1. Situación energética mundial.

El consumo de energía es valorado como un índice de progreso económico y social de cualquier país. Por eso durante mucho tiempo las consecuencias medio-ambientales y sociales de patrones de consumo de energía, fueron dejadas a un lado, el acceso a la energía ha sido siempre un prerrequisito del desarrollo económico; la prosperidad que trae estimula la demanda de más servicios y de mejor calidad.

El agotamiento paulatino de los recursos energéticos existentes, su impacto en el cambio climático, la salud, la conservación y ahorro de la energía, la disponibilidad real de alternativas basadas en fuentes renovables y su dependencia del aumento de la población del planeta y de los nuevos descubrimientos científicos en este campo, son hoy un tema muy discutido y continuaran siendo medulares para el futuro de la humanidad.

En la actualidad los hidrocarburos son una de las grandes bases energéticas de la sociedad, pero son energías de tipo no renovable, es decir una vez agotadas no podrán ser repuestas. (Arrastía Ávila., 2009)

El modo irracional en que se han utilizado estos recursos no renovables ha dañado considerablemente la naturaleza. Se estima que de acuerdo a los ritmos

actuales, las reservas globales de petróleo se agotarán en unos cuarenta años aproximadamente, mientras las de gas natural y carbón llegaran a su fin en unos sesenta y doscientos años respectivamente, según cálculos actuales reportados por de la British Petroleum., (2006).

Los mayores consumidores de petróleo en el mundo lo constituyen EUA, China y Japón, con alrededor del 37.2% del consumo mundial, mientras que las dos terceras partes de las reservas probadas de petróleo están en el Medio Oriente: Arabia Saudita 22.1%, Irán 11.1%, Irak 9.7%, y Emiratos Árabe Unidos 8.3% (British Petroleum., 2006).

1.2 Fuentes de energía renovable en Cuba.

La participación de las tecnologías energéticas renovables crece a nivel mundial en 20% anual, si se tienen en cuenta todas sus manifestaciones. La mayoría de los países desarrollados invierten sumas millonarias para poner en explotación las diversas fuentes renovables de energía, por ser limpias y sobre todo sostenibles. Los mayores progresos se observan en las energías eólica y fotovoltaica. Avances importantes se aprecian en los biocombustibles y en el empleo de los desechos. Pérez Escoso, A., (2009)

Se puede afirmar, por tanto, que en no menos de diez años las fuentes renovables de energía serán las de mayor participación. Cuba no está de espaldas a esta realidad. Nuestro país es rico en recursos energéticos renovables y pobre en los no renovables; el sol, el viento, la biomasa (fundamentalmente la procedente de la caña de azúcar) y la hidro-energía son las fuentes a las cuales se les puede apostar con mayor certeza para la diversificación de la matriz energética en Cuba. (Contreras Velásquez., 2006).

❖ Energía eólica

El desarrollo tecnológico de esta fuente renovable de energía a gran escala se encuentran en los parques eólicos terrestres (on-shore) y en los marítimos o costa afuera (off-shore).

El potencial eólico cubano fue determinado en el Mapa Eólico, elaborado en 2006 a partir de 49 estaciones meteorológicas. El resultado fue que a una altura promedio del viento a 50 metros, el potencial eólico total se ubica entre 4 000 y

12 000 MW, incluyendo zonas costeras, espacios interiores, regiones montañosas y las pequeñas islas o cayos alrededor de la isla mayor. Entre 2005 y 2010 se realizaron mediciones del viento en prácticamente todo el país, lo que constituyó una prospección intensiva del recurso. Se pudo caracterizar con mayor precisión el potencial eólico técnicamente instalable. Esto permitió precisar que existen 21 zonas en la costa norte de la isla, en la zona oriental, que son las más ventajosas para la instalación de parques eólicos. Si se suman las potencialidades de esas 21 zonas, el total arroja que el potencial técnicamente instalable es de 1 100 MW hasta el día de hoy. (EMC., 2009).

En la zona donde se realiza la investigación, la velocidad media anual del viento es de 19 a 24 km/h (de 5,27 a 6,6 m/seg), según datos del mapa eólico nacional. Los pequeños aerogeneradores presentan grandes perspectivas en el país, atendiendo a que 5% de la población aún no recibe electricidad de la red eléctrica. Aún no se producen en el país con la suficiente madurez tecnológica como para calificarse de satisfactorio el desarrollo de estas pequeñas máquinas. Las zonas costeras, adonde no llega la red eléctrica, pudieran beneficiarse con esta tecnología. El uso del molino de viento para el bombeo de agua es tradicional en el país y estas máquinas se introdujeron desde principios del siglo pasado, para el abasto de agua tanto a la población como al ganado. Hoy más de 8 000 molinos se encuentran instalados a todo lo largo y ancho del archipiélago y, además, se producen en el país para abastecer el mercado interno. (Greenpace., 2007).

1.3 Aerogenerador de eje horizontal y vertical. Molinos multipalas y aerogenerador Savonius

Las máquinas eólicas de molinos multi-palas son de arrastre, y aprovechan la componente de la fuerza del viento perpendicular a la superficie de sus aspas, palas o aletas. El molino americano es un aerogenerador lento, que hizo su aparición hacia 1800; está formado por un rotor compuesto por un número de palas que puede oscilar entre 12 y 24 y que cubren casi toda la superficie del cubo. Su diámetro suele ser del orden de 5 a 8 metros; diámetros mayores originarían un excesivo peso del rotor que dificultaría el arranque; suelen

ponerse en funcionamiento con vientos de 2 a 3 m/seg, aunque no alcanzan su potencia máxima hasta velocidades mayores. El rotor está conformado por delgadas placas metálicas, de perfil no aerodinámico, prácticamente planas, con una cierta orientación; el viento ejerce sobre ellas una fuerza de arrastre que provoca el par de giro. Las máquinas de arrastre diferencial presentan la ventaja de evitar todo tipo de dispositivos de orientación a causa de su configuración simétrica y de su construcción, que es muy simple. Rodríguez., *et al* (2011).

El aerogenerador Savonius fue inventado por el finlandés de igual nombre en el año 1924 y patentado en 1929. Se compone de dos semicilindros de igual diámetro, de ejes paralelos acoplados al eje de giro y separados una cierta distancia, Figura 1., Anexo1: Las fuerzas que ejerce el viento en la parte cóncava y convexa son diferentes, como sabemos, y ello hace que el conjunto gire alrededor de un eje. Para el rotor Savonius de dos palas o canaletas, el coeficiente de arrastre es aproximadamente la unidad para el curvado cóncavo (intradós), y oscila entre 0,12 y 0,25 para la parte opuesta (extradós) a donde sopla el viento. Estos valores no coinciden con los indicados anteriormente debido a la interferencia de las palas, como se observa en la Figura 2, Anexo 2, ya que el rotor siempre está sometido a un par aerodinámico suplementario debido a las dos desviaciones sucesivas que experimenta el viento por efecto de las palas, llegando a formar esta desviación un ángulo de 180°. Con estos datos se puede calcular fácilmente la fuerza de arrastre, resultante de la diferencia de las fuerzas de arrastre correspondientes a los dos flancos, así como el par motor neto del aparato. (Schwartz., 2011).

1.4 Digestión anaerobia. Etapas.

Existen diversos procesos para convertir la biomasa en energía, estos procesos utilizan las características bioquímicas de la biomasa y la acción metabólica de los microorganismos para producir combustibles, siendo el más importante la digestión anaerobia, proceso en que la biomasa a través de las bacterias generan un gas combustibles llamado biogás, que es una mezcla de metano y dióxido de carbono, además la materia sólida remanente del proceso es un buen fertilizante orgánico. (Jeason .*et al.* 2002).

La utilización de distintos desechos y mezclas de estos, para producir biogás, se considera una tecnología multipropósito, ya que compite en tres áreas muy diferentes, que son los mercados de fuentes energéticas, en el de los abonos, y en el de tratamiento de residuos. Barrera Cardoso (2007).

En el mercado de los energéticos, el biogás compite con la leña, el gas propano y la electricidad; fuentes energéticas utilizadas usualmente en la cocción; con el kerosene, las velas y la electricidad en la iluminación, sobre todo en lugares donde el servicio es deficiente o no existe; con el gas propano y la electricidad en la refrigeración y con la gasolina o el diesel, como combustible para motores. (Flotats, *et al.* 2000).

Por otro lado en el mercado de los abonos, el sólido generado en el proceso compite con el estiércol fresco y con los fertilizantes químicos; ya que permite un ahorro de la cantidad de otros abonos convencionales sin disminuir la productividad. En el mercado de tratamiento de residuos; la producción de biogás puede imponerse sobre sistemas de tratamiento tradicionales, que son de mayor costo.

Lo anterior permite confirmar que esta tecnología, genera productos importantes que pueden sustituir a productos que tienen amplia demanda actualmente. El proceso anaerobio consta de tres etapas fundamentales que ocurren simultáneamente:

- ❖ Hidrólisis: etapa en la cual las bacterias Hidrolíticas actúan sobre los compuestos orgánicos de gran tamaño del sustrato, tales como celulosa, almidones, proteínas y grasas entre otras, transformándolos por hidrólisis en compuestos orgánicos solubles. (Angelidaki., 1997).
- ❖ Acetogénesis: donde los productos finales de la etapa anterior son transformados en acetato, hidrógeno y CO₂ por un grupo de bacterias que aportan aproximadamente el 54% del hidrógeno que se utilizará en la formación de metano. La función de estos microorganismos en el proceso de digestión anaerobia es generar los sustratos (hidrógeno, CO₂ y acetato) para las bacterias metanogénicas. (Veeken, *et al.* 2002).

- ❖ **Metanogénesis:** actúan las bacterias especializadas, degradando estos ácidos y alcoholes, obteniéndose como productos finales del proceso metabólico gas metano, principal componente del biogás y por otro lado bio-abono utilizado como fertilizante, por su riqueza en determinados nutrientes (Soria., 2000). Dentro de los sustratos utilizados existen algunos muy estudiados como las aguas residuales urbanas, purines de cerdo, estiércol de vaca y residuos orgánicos industriales, sin embargo hay sustratos o mezclas de estos que despiertan gran interés por conocer la productividad que pueden alcanzar al tratarlos con sistemas de bio-conversión anaerobio.

1.4.1 Factores Influyentes en la Digestión Anaerobia.

Para los autores Campos, et. al., (2000); Conteras., (2006); ETHANOL, (2009) los factores ambientales para el control de la digestión anaerobia, deben ser tomados en cuenta para el diseño. Entre los más importantes se destacan:

- ❖ **Temperatura:**

La mayoría de los trabajos que tratan el aspecto de la digestión anaerobia plantean que es posible obtener metano entre 5 y 65 °C, aunque el efecto de la temperatura en una reacción química puede ser descrito por la ecuación de Arrhenius, en una mezcla compleja de reacciones este efecto solo puede ser analizado experimentalmente; y en la digestión anaerobia la temperatura no solo influye o varía los parámetros cinéticos, sino también la población microbiana.

Archer.,(1983), señala que los digestores anaeróbicos operan en dos rangos óptimos de temperatura; rango mesófilo entre 35 y 40 °C y termófilo entre 55 y 65 °C, y apunta que este factor tiene un efecto significativo en la cinética del proceso.

Henze y Harremoes.,(1986), resumen que el proceso termófilo tiene velocidades de producción de metano de 25 a 50 % mayores que el proceso mesófilo y plantean que el principal problema de los procesos termófilos es que a esas temperaturas existen pocas especies bacterianas capaces de crecer.

Lin.,(1985), y colaboradores realizaron un estudio del efecto de la temperatura en el proceso de metanogénesis basado en la carga orgánica aplicada, el tiempo

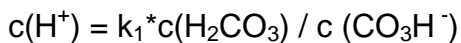
de retención y la producción de metano; utilizaron un sustrato sintético de ácidos volátiles y establecieron como temperatura óptima para el proceso 35 °C. Observaron que la producción de metano depende de la temperatura y de la velocidad de carga aplicada.

Para el caso del residual de la cría en cautiverio de animales domésticos objeto de estudio en este trabajo, el rango de temperatura del proceso es el mesófilo, ya que los digestores funcionan a temperatura ambiente y situados a la intemperie.

❖ Control del pH.

Los sistemas biológicos deben ser operados de forma que se favorezca el crecimiento de la población microbiana. El pH del medio debe ser tal que permita el crecimiento óptimo de los microorganismos.

Según Mc Carty., (1964), el pH del licor de tratamiento anaerobio está relacionado con el equilibrio químico: ácido – base. Es de interés que el pH del sistema se encuentre entre 6 y 8. El principal sistema químico que regula el pH de la digestión anaerobia es el sistema dióxido – bicarbonato, a través de la ecuación de equilibrio:



La concentración de ácido carbónico está relacionada con el contenido de dióxido de carbono en el biodigestor. La concentración del anión bicarbonato es aproximadamente equivalente a la alcalinidad total para muchas aguas residuales que tengan baja concentración de ácidos volátiles, cuando la concentración de ácidos volátiles comienza a incrementarse, estos son neutralizados por la alcalinidad al bicarbonato y entonces la alcalinidad total está compuesta por ambas; alcalinidad al bicarbonato y alcalinidad a los ácidos volátiles.

Henze y Harremoes., (1986) plantean que el rango de pH óptimo para el crecimiento de las bacterias metanógenas es entre 6 y 8. En la literatura consultada existe consenso en cuanto a que el pH óptimo para el desarrollo del proceso es 7, lo cual coincide con el criterio de estos autores.

❖ Ácidos volátiles.

Mc Carty (1964), señala que los principales ácidos volátiles formados en el tratamiento anaeróbico son el acético y el propiónico; siendo los precursores de la formación de metano. Sham., (1988) y Frostell., (1988), coinciden en señalar que la concentración de ácidos volátiles y la alcalinidad durante el tratamiento anaeróbico dependen de la concentración del residual y de su composición. Plantean que el mejor criterio para conocer la estabilidad del sistema es la relación ácidos volátiles/ alcalinidad, la cual debe ser $< 0,5$.

Iannotti.,(1984), realizó un estudio de la influencia de algunos factores como: pH, ión amonio y ácidos volátiles en la digestión de residuales porcinos, señala que los ácidos volátiles individuales (acético, propiónico y butírico) afectan cada grupo de bacterias diferentes. El acético resultó ser menos tóxico para los tres grupos estudiados.

Según la literatura consultada la concentración de ácidos volátiles en el proceso de digestión anaerobia se regula mediante el equilibrio dióxido bicarbonato. Para lograr que esta se mantenga dentro de los rangos permisibles en los biodigestores de pequeño formato se debe tener cuidado en no rebasar la capacidad de carga durante la alimentación diaria.

❖ Sustancias tóxicas.

Se conocen como sustancias tóxicas o materiales tóxicos aquellas que en determinadas concentraciones pueden inhibir la digestión anaerobia.

Mc Carty.,(1964), clasifica como tóxicos a los cationes de las sales alcalinas: sodio, potasio, calcio, y magnesio; además el amonio, el anión sulfuro y a los cationes de los metales pesados: zinc, cobre divalente y níquel divalente.

El amonio, según Mc Carty.,(1964) y Anderson.,(1982), es formado en el tratamiento anaerobio por la degradación de residuos que contienen proteínas o urea. En dependencia del pH del medio se favorece una u otra forma del nitrógeno inorgánico (NH_4^+ o NH_3), estas especies resultan tóxicas cuando las concentraciones son superiores a los 1 500 mg / L.

Otros autores han trabajado la digestión anaerobia de las excretas de ave de corral en altas concentraciones de nitrógeno amoniacal sin encontrar efectos adversos en la producción de biogás.

De acuerdo con lo expresado por los diferentes autores que han tratado el tema de la concentración de los compuestos de nitrógeno y su efecto sobre la digestión anaerobia, para mejorar el funcionamiento de los digestores anaerobios de primera generación de pequeño formato, como los utilizados en la realización del presente trabajo, y donde se emplean los residuales de la cría de animales domésticos en cautiverio (principalmente porcinos) es recomendable la disposición hacia el biodigestor de las excretas sólidas, diluidas al 50 %, y desechar en la medida de lo posible el orine pues este contribuye a elevar la concentración de los compuestos de nitrógeno debido a su alto contenido en ión amonio y urea.

1.5 Cinética química. Sistema de agitación en reactores.

Una reacción química cuyo ritmo de transformación sea lento, se haría impracticable desde el punto de vista de su interés industrial, por lo que sería ventajoso poder cambiar las condiciones de operación de modo que fuera posible acelerarla.

Cuanto mayor sea el número de moléculas de los reactivos presentes en un mismo volumen se incrementa la probabilidad de choques entre sus partículas. Sin embargo, no todos los choques entre partículas dan lugar a formación de productos, ya que de ser así, todas las reacciones serían instantáneas pues comúnmente el número de choques probable entre partículas es muy elevado.

Por ello solo aquellos choques suficientemente enérgicos para que se produzca el rompimiento de los enlaces, y el reordenamiento y formación de una nueva partícula se distinguen como choques efectivos, que contempla sólo aquellos choques entre partículas con suficiente energía que dan lugar a la formación de los productos de reacción. No obstante, cuanto mayor sea el número de colisiones que se producen en la unidad de tiempo, se hace más probable la ocurrencia de choques que den lugar a la transformación de las moléculas.

De esta forma se explica el hecho de la necesidad de agitación en reactores, pues al aumentar la interacción entre los reactivos aumenta la velocidad de la reacción química. Esta interacción puede ser acelerada con el uso de

agitadores, los cuales provocan un mayor número de choques entre las partículas reaccionantes.

Beneficios de los agitadores, según Sánchez, J., *et al* (2012):

- ❖ Se ponen en contacto con el sustrato fresco o afluente con la población bacteriana.
- ❖ Se mezcla la biomasa fresca con la biomasa digerida existente al interior del biodigestor.
- ❖ Se previene la formación de capa superficial de costras y de espumas, así como la sedimentación en el biodigestor.
- ❖ Se evita la formación de espacios muertos que reducirían el volumen efectivo del biodigestor.
- ❖ Se “sueltan” las burbujas de biogás.

1.6 Biogás su obtención y aplicación.

Según Montes., (2008) el biogás es una mezcla gaseosa que se obtiene de la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas y cuyos principales componentes son el metano (55,65%) y el anhídrido carbónico (35-45%) y en menor proporción, nitrógeno, (0-3%), hidrógeno (0-1%), oxígeno (0-1%) y sulfuro de hidrógeno (trazas) que se producen como resultado de la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire por la acción de un microorganismo.

A pequeña y mediana escala, el biogás ha sido utilizado en la mayor parte de los casos para cocinar en combustión directa, sin embargo también puede ser utilizado para iluminación, calefacción, como reemplazo de la gasolina o el diesel en motores de combustión interna, operar maquinaria agrícola o bombear agua. (Veeken, *et al.*, 2002)

El poder calorífico aprovechable depende del rendimiento de los quemadores o de los aparatos. Se debe tener especial cuidado con el ácido sulfhídrico del biogás, ya que ocasiona corrosión prematura en los equipos, por esta razón es necesario colocar una trampa de limadura de hierro en la línea de transporte del biogás. (Cofré., 2001)

La cámara de combustión y los quemadores deben estar hechos de acero especial o de esmalte. Para la utilización del gas en motores no es necesario filtrar el biogás, la presión del gas puede ser baja, pues los motores lo succionan, tampoco es rentable licuar el biogás. Las tuberías de gas pueden estar hechas de acero, cobre, caucho o plástico (Cofré., 2001). En la Tabla 1.1 (Anexo 3) se muestra la duración de 1 m³ de biogás para diferentes artefactos.

1.7 Biogás su obtención y aplicación.

Según Hernández (2005), una planta de biogás consiste en un biodigestor y una campana almacenadora de gas. El digestor es el depósito donde se introduce el material orgánico a fermentar, y la campana de gas o domo es la encargada de recoger el gas en la medida en la que es producido. Esta campana generalmente se coloca encima del digestor y en otros casos la campana puede estar separada del digestor llamándose entonces gasómetro.

Un biodigestor es un reactor, dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar en determinada dilución con agua, para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos. (Barlatey., 2012)

Los biodigestores se clasifican según:

- ❖ La capacidad de la planta (Lugones., 2003):
 - Planta industrial de biogás (biodigestores de segunda o tercera generación).
 - Planta de pequeña capacidad (biodigestores de primera generación).
- ❖ Atendiendo al flujo de operación (Borja., 2011):
 - Biodigestores de flujo discontinuo: son aquellos en que la carga del material a fermentar se hace al inicio del proceso y la descarga del efluente se hace al finalizar el proceso.
 - Biodigestores de flujo continuo: estos se cargan y descargan de forma periódica, el material de fermentación debe ser fluido y uniforme.
- ❖ Desde el punto de vista evolutivo (Pérez,*et al.*, 2000):
 - Biodigestores de primera generación.
 - Biodigestores de segunda y tercera generación.
 - Biodigestores de primera generación:

- ❖ Biodigestor de campana flotante.
- ❖ Biodigestor de cúpula fija.
- ❖ Biodigestor tubular de polietileno.
- ❖ Biodigestor de cubierta flexible.

❖ Biodigestor de campana flotante.

En la Figura 3 (Anexo 4) se ilustra un biodigestor campana flotante, que consiste en un tanque de almacenamiento cilíndrico, cuyas paredes pueden ser construidas de piedra, ladrillos u hormigón, provisto de una campana móvil que sube al incrementar la presión del gas, a cual puede ser metálica, de hormigón, hierro, cemento o plástico. Estos reactores poseen además tuberías para la alimentación del substrato, descarga de los efluentes residuales y para la extracción del biogás, las cuales pueden ser de plástico, fibrocemento, cerámica, entre otros materiales. (ACPA, 2012)

❖ Biodigestor de cúpula fija.

En la Figura 4 (Anexo 5) muestra un biodigestor de cúpula fija, que se emplea para el almacenamiento de biogás una cúpula fija localizada sobre el tanque de almacenamiento de la biomasa y que funciona como el biorreactor, que puede ser de materiales pre-fabricados de hormigón o ladrillo (ACPA, 2012). Estos biodigestores tienen un elevado tiempo de vida útil, en comparación con el biodigestor de campana flotante, mientras tienen la desventaja de presentar un elevado costo de construcción (Cepero, *et al.*, 2012).

En los biodigestores de campana flotante y de cúpula fija, la biomasa se encuentra sedimentada y existe un mínimo contacto con el substrato, de lo que se deriva una relación unitaria entre el tiempo de retención celular y el tiempo de retención hidráulica ($TRC/TRH=1$). Estas condiciones de operación propician que la producción de biogás por m^3 de biodigestor, no sobrepase el $1,5 m^3$, lo que demuestra la baja eficiencia en la remoción de la materia orgánica. Estos tipos de biodigestores se emplean para el tratamiento de residuos sólidos y la estabilización de lodos. (Sánchez y González, 2011)

En la actualidad a los modelos de biodigestores de cúpula fija les realizaron modificaciones. En la Figura 5, Anexo 6 se muestra una de ellas, y es la

construcción del tanque de compensación sobre el área que ocupa la cúpula. Esta reestructuración propició ventajas como: la disminución de los costos iniciales, pues se economiza materiales de construcción, puesto que ocupa menor área y, por tanto menor volumen de excavación por lo que minimiza, además, el tiempo de ejecución y la localización del tanque de compensación encima de la cúpula favorece su impermeabilización (Sánchez, *et al.*, 2011; citado por ACPA, 2012).

Otra modificación realizada en los biodigestores de cúpula fija es la que consiste en la utilización de un agitador mecánico, esto incrementa el contacto de las bacterias con la materia orgánica y, por tanto el aumento de la velocidad de las reacciones y la producción de biogás. El agitador tiene además la función de romper la costra que se forma en el interior del biodigestor y que dificulta en muchas ocasiones la salida del biogás a la cúpula. (Sánchez y González., 2011)

Otra de las modificaciones realizadas al diseño de los biodigestores de cúpula fija, es la adición de lechos de bacterias al biodigestor, lo que aumenta la superficie de contacto con la materia orgánica, mejorando así las reacciones bioquímicas. (Lugones, 2003)

❖ Modelos de biodigestores de tipo tubular.

Son construidos con materiales como el cloruro de polivinilo, polietileno, entre otros. Los componentes fundamentales de este biodigestor son: una bolsa de polietileno o polivinilo, cuyo objetivo es almacenar la excreta mezclada con agua, y la instalación de determinados accesorios para propiciar el buen funcionamiento del equipo (válvulas de seguridad, tuberías y adaptadores). Estos sistemas pueden ser construidos de forma alargada o en forma de saco, son de fácil instalación, más baratos y de mayor sencillez en el manejo y mantenimiento. (ACPA, 2012)

Como desventajas de este tipo de biodigestor, se encuentran: su corto tiempo de vida útil y la posibilidad de sufrir roturas por acciones del hombre, los animales y las condiciones climatológicas adversas. Su aplicación se limita a pequeña y media escala (Lugones., 2003). En la Figura 6, Anexo 7: se ilustra este tipo de biodigestor.

❖ Biodigestor de cubierta flexible.

Este tipo de biodigestor se muestra en la Figura 7, Anexo 8, y consta de una película delgada de polietileno de estructura semi-esférica y de un tanque de almacenamiento de piedra y ladrillos, su instalación es muy económica, puesto que la estructura de polietileno pueda alcanzar hasta 10 años de vida útil, si no sufre ningún deterioro por manejo inapropiado o por condiciones climáticas adversas (Sánchez, *et al* 2011).

También se puede citar los biodigestores de segunda generación, estos biodigestores se emplean para el tratamiento de residuos líquidos de alta carga orgánica. En ellos el tiempo de retención de sólidos es mayor que el tiempo de retención hidráulico y, por tanto el proceso es más eficiente Romero Romero (2005). En la Tabla 1.2, Anexo 9 se muestran los diferentes tipos de biodigestores de segunda generación que existen.

1.8 Elementos constructivos de un biodigestor.

❖ Cámara de digestión:

Está compuesto por la Cámara de fermentación y la cúpula. En la Cámara de fermentación anaeróbica ocurre la degradación de la materia orgánica y la liberación del biogás, su geometría es generalmente cilíndrica y su capacidad está dada por el volumen de material a degradar. La función de la cúpula es almacenar el gas en los momentos que no existe consumo, pues la producción de gas es ininterrumpida a lo largo de todo el día. La capacidad de almacenaje de la cúpula depende del volumen de la Cámara de fermentación. (MINENERGIA, 2011)

❖ Laguna de compensación:

En ella se acumula el material ya fermentado, y tiene como objetivo compensar las presiones interiores del biodigestor para que no ocurra una explosión. La capacidad de esta laguna está en dependencia del volumen del biodigestor y puede tener diferentes formas (cuadrada, circular, rectangular), puede construirse encima de la cúpula o al lado del tanque de fermentación. (Sánchez, *et al.*, 2011)

❖ Registro de carga:

Puede ser construido de varias formas y su tamaño depende del diseño del biodigestor, en él se introduce el material a fermentar, mezclándolo con agua en las proporciones adecuadas para que ocurra la correcta homogenización. (Campos, 2011)

❖ Conducto de carga:

Son los tubos que comunican al registro de carga con la cámara de digestión. (Campos, 2011)

❖ Registro de evacuación de lodos sedimentables:

Generalmente tiene forma de paralelogramo de distintas dimensiones. Su función es evacuar los lodos sedimentables provenientes de la Cámara de digestión. Su funcionamiento garantiza la limpieza del biodigestor. (Sánchez., et al. (2011)

1.9 Parámetros de diseño de un biodigestor.

El parámetro principal en el diseño de un biodigestor es el volumen, lo cual depende:

- ❖ Cantidad de residual por día a tratar.
- ❖ Tiempo de retención.
- ❖ Volumen de biogás a obtener.

La cantidad de estiércol diario que se va a fermentar depende de la especie animal que esté presente en la exploración, del número de ejemplares y el tiempo de estabulación (MINENERGIA, 2011). Se debe tener en consideración que para obtener metano en cantidades suficientes se requiere de una abundante provisión de estiércol animal, puede usar también restos vegetales, mientras la mayor parte de la materia utilizada debe ser estiércol, de otra manera una alta proporción del gas será monóxido de carbono (CO), que no es combustible (Zeeman y Gerbens, 2012).

Yaldiz., *et al.*,(2012), expone que el tiempo de retención técnico es el tiempo en cual el material de fermentación permanece en el biodigestor, quiere decir es el período que debe permanecer el residuo en el interior del biodigestor para disminuir su carga contaminante a no menos del 80% y extraer todo su potencial en producción de biogás.

Blanco, *et al.*, (2012), expone que depende de las características de cada zona y de la temperatura, teniendo en consideración que con valores bajos de temperatura el tiempo de retención es mayor pues disminuye la actividad metabólica de las bacterias. Rojas, *et al.*, (2008), expone que el tiempo de retención es el período donde ocurre el desarrollo de las poblaciones microbianas, considera además que depende de las características del reactor empleado y del tipo de sustrato (Ver Tabla 1.3 Anexo 10).

La producción específica de biogás por día depende del tiempo de retención y del tipo de materia orgánica a fermentar. Para su determinación se pueden emplear fórmulas teóricas apoyadas en la composición del sustrato en cuanto a proteínas, carbohidratos y grasas; o utilizar la diferencia de la demanda química de oxígeno entre el afluente y el efluente. (Blanco, *et al.*, 2012)

Una vez analizados estos elementos se procede a determinar los parámetros constructivos del biodigestor:

- ❖ Volumen del biodigestor.
- ❖ Volumen de la cámara de digestión.
- ❖ Altura de la cámara de digestión.
- ❖ Diámetro de la cámara de digestión.
- ❖ Radio de la cámara de digestión.
- ❖ Radio de la cúpula.
- ❖ Altura de la cúpula.
- ❖ Volumen de la cúpula.

CONCLUSIONES PARCIALES DEL CAPÍTULO 1

1. La digestión anaerobia es un proceso que ocurre de forma natural, pero llevado a la industria se convierte en una tecnología capaz de brindar a la sociedad una fuente alternativa de energía sin efectos negativos para el medio ambiente.
2. Las principales fases en que ocurre la digestión anaerobia son: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.
3. Con el empleo de los biodigestores pueden ser aprovechados los residuos, quienes constituyen una fuente renovable de energía para la obtención de biogás, pero de no ser usados con este fin constituyen una importante fuente de contaminación ambiental.
4. El biogás es una mezcla de gases que se obtiene como resultado de la digestión anaerobia de la materia orgánica, ocasionada por la acción combinada de un grupo de bacterias. Está compuesto fundamentalmente por: metano, dióxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno y trazas de vapor de agua.
5. Algunas de las ventajas que trae consigo el uso de los biodigestores son: El biogás producido se aprovecha para emplearlo en la cocción de alimentos, en la producción de electricidad para el alumbrado de las viviendas, en refrigeración, como combustible en el funcionamiento de los motores de combustión interna de medios de transporte automotores, en la conservación de granos, frutos y semillas y constituye un eficiente sistema de tratamiento de residuos de alta carga orgánica.
6. El uso de la energía eólica como método de agitación disminuye el tiempo de retención de la excreta en el interior del biodigestor, debido al aumento de las interacciones entre las partículas reaccionantes, por tanto aumenta la eficiencia del mismo.

Capítulo 2. Materiales y métodos.

En este capítulo se explican los procedimientos que se llevaron a cabo para el diseño del biodigestor, el cálculo de la masa de virutas de hierro a utilizar en el filtro, para la eliminación del sulfuro de hidrógeno. Se explican los criterios seguidos para la selección del tipo de rotor eólico a utilizar para mover el agitador de la biomasa.

Como resultado de los cálculos realizados, apoyados en los resultados de las pesquisas que se efectuaron, se propone el plano de construcción del biodigestor adecuado a las características del rebaño y la clasificación de los animales que lo componen, así como el tipo de rotor eólico más apropiado para el agitador mecánico de la biomasa.

2.1 Diseño del biodigestor.

Según Sánchez *et al.*, (2011), el primer aspecto a tener en cuenta para el diseño del biodigestor es su volumen total, lo cual se determina en función de dos aspectos fundamentales:

- ❖ La cantidad de biomasa que se dispone y que debe tratarse a través del biodigestor.
- ❖ La necesidad de biogás en función de los requerimientos energéticos.

Para el desarrollo de este estudio se tiene en cuenta la cantidad de biomasa que se dispone, ya que se fundamenta en la necesidad de disminuir el impacto ambiental negativo de las excretas producidas por la cría de animales estabulados en zonas suburbanas, específicamente ganado porcino.

Pasos a seguir para el diseño del biodigestor:

Primero: Determinar el volumen total de la biomasa de excreta generada. La cantidad total de excreta generada por día se determina por la ecuación:

$$mc = N * \left[\frac{PVP}{PVE} \right] * mt * \left[\frac{TE}{24h} \right] \quad (2.1)$$

Donde:

N: número de animales

PVP: peso vivo promedio, kg

PVE: peso vivo equivalente, kg (Ver Anexo 10: Tabla 2.1

TE : tiempo de estabulación, h (horas)

m_C : masa total de excreta calculada, kg

m_T : masa de excreta equivalente, kg

El PVP y N se determinaron a partir de visitas realizadas a la finca y la observación del rebaño.

Segundo: Determinar la masa de agua a suministrar al biodigestor a través de la expresión:

$$m_A = REA * m_C \quad (2.2)$$

Donde:

m_A : masa de agua, kg

m_C : masa de excreta calculada, kg

REA : relación excreta/agua para cada especie animal (Ver Anexo 10: Tabla 2.1)

Tercero: Calcular el volumen de la cámara de digestión (depende de la cantidad de biomasa de excreta animal calculada), por la ecuación:

$$V_{CD} = m_A + m_C * TR * 10^{-3} * m^3 * kg^{-1} * dias^{-1} \quad (2.3)$$

Donde:

V_{CD} : volumen de la cámara de digestión, m^3

T_R : tiempo de retención (días) (Ver Anexo 10: Tabla 2.1)

m_A : masa de agua, kg

m_C : masa de excreta calculada, kg

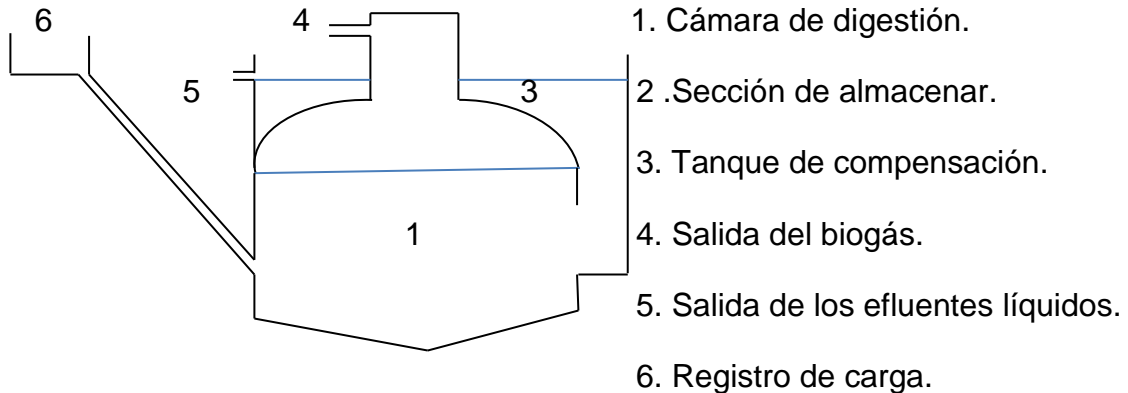
$10^{-3} m^3 * kg^{-1} * dias^{-1}$: Factor de conversión

Aplicando la ecuación siguiente se determina el volumen de esta parte del biodigestor;

$$V_{CD} = h * \pi * r^2 \quad (2.4)$$

Cuarto: Determinar los volúmenes específicos y la altura de cada sección del biodigestor de cúpula fija.

Figura 8: Secciones del biodigestor de cúpula fija modificado:



Cámara de digestión.

En esta sección del biodigestor es donde se deposita la materia orgánica a fermentar en determinada dilución con agua. Su volumen se determina por la ecuación 2.3.

Para poder aplicar esta ecuación se necesitan conocer tres datos fundamentales, los cuales son; la cantidad de biomasa generada diariamente en *kg*, la masa de agua necesaria para la dilución de la biomasa para favorecer el proceso de hidrólisis y el tiempo de retención de la biomasa para su transformación en biogás y lodos finales.

Para calcular la cantidad de biomasa generada lo primero que se debe conocer es la composición del rebaño que aportará las excretas que se utilizarán como biomasa. Esta composición se determinó “*in situ*” y resultó una composición como la que se detalla a continuación:

- | | | |
|-----------------|--------------------|---------------|
| - 2 verracos | - 20 cerdas | } 113 cerdos: |
| - 15 pre-cerdas | - 35 reproductoras | |
| - 25 cochinitas | - 16 crías | |

Teniendo en cuenta estos aspectos se procede al cálculo de cada una de estas partes componentes del biodigestor de la forma siguiente:

Dimensiones del fondo cónico del biodigestor:

$$V_{cono} = \frac{\pi * r^2 * h}{3} \tag{2.5}$$

- r: Radio, m
- h: Altura, m

Dimensiones de la cúpula esférica del biodigestor:

$$V_{cúpula} = \pi h^2 * \left[r - \frac{h}{3} \right] \quad (2.6)$$

- h: Altura, m
- r: Radio, m

Dimensiones del cuello del biodigestor:

$$V_{Cuello} = \pi * r^2 * h \quad (2.7)$$

- r: Radio, m
- h: Altura, m

Volumen del tanque de compensación:

En esta parte del biodigestor se deposita el efluente que se obtiene del proceso de digestión anaeróbica, su volumen se determina a partir de la cantidad de efluente generado y de la densidad de la suspensión, más para eso se debe determinar primero a través de un balance de masa al biodigestor, la masa de efluente que se genera. (Sánchez *et. al.*, 2011; citado por Pérez-Borroto Calderín, L., 2015).

2.2 Balance de masa en el biodigestor.

$$m_{EF} = m_S - m_G \quad (2.8)$$

Dónde:

m_{EF} : masa del efluente, kg

m_S : masa de la suspensión, kg/día

m_G : masa del biogás, kg/día

La masa que se transforma en biogás se determina a partir de la ecuación 2.9:

$$m_G = V_G * m_p \quad (2.9)$$

Dónde:

m_G : masa de biogás obtenida en el biodigestor, kg

m_p : es la masa de 1m³ de biogás a TPEA; según Sánchez y González .,(2011), para una composición del biogás de 60% de CH₄, 36% de CO₂, 2% de H₂, 1.5% de N₂, 0.1% de H₂S y trazas de vapor de agua, equivale a 1.045 kg/m³.

V_G : es el volumen de biogás generado

Para determinar la masa de biogás que se obtiene es preciso partir de la composición de la biomasa y su contribución en biogás, según los datos de la Tabla 2.1, Anexo 10.

La biomasa a fermentar está constituida por:

- ❖ 113 cerdos de un peso corporal promedio de 50kg.

Para calcular el volumen de biogás generado es preciso multiplicar el número de animales por lo volumen medio de biogás que generan las excretas del animal.

$$V_G = V_{Gcerdos} * N \quad (2.10)$$

Dónde:

V_G : volumen de biogás

$V_{Gcerdos}$: m³de biogás por día (Ver tabla 2.1, Anexo 10)

N : cantidad de animales

La masa de la suspensión (m_s), se determina por la masa de excreta más la masa de agua;

$$m_s = (m_{exc.} + m_{agua}) \quad (2.11)$$

Una vez que se determina la masa del efluente, se calcula el volumen de efluente, mediante la ecuación 2.12:

$$V_{EF} = \frac{m_{EF}}{\rho_s} \quad (2.12)$$

Dónde:

M_{EF} : masa del efluente, kg/día

ρ_s : densidad de la suspensión, 1000 kg/m³

Una vez calculado el volumen del efluente, este se multiplica por el tiempo de estabilización, ($T_{Est.}$), y se obtiene el volumen del tanque de compensación, según la ecuación 2.13;

$$V_{TC} = V_{EF} * T_{Est} \quad (2.13)$$

Dónde:

V_{TC} : volumen del tanque de compensación, m³

$T_{Est.}$: tiempo de estabilización de los lodos, 15 días

A partir de este volumen se calcula entonces la altura que debe tener esta sección, la cual es la variable que determina el volumen del tanque de

compensación, pues el radio ya está determinado por las dimensiones del biodigestor, a través de la ecuación 2.14:

$$V_{TC} = \pi * r^2 * h - \left[\pi * h_c^2 * \left(r_c - \frac{h_c}{3} \right) \right] \quad (2.14)$$

Dónde:

V_{TC} : volumen del tanque de compensación, m³

r = radio del tanque de compensación, m

h = altura del tanque de compensación, m

h_c : altura de la cúpula, m

r_c : radio de la cúpula, m

Si;

$$V_{Cúp} = \pi h_c^2 \left(r_c - \frac{h_c}{3} \right) \quad (2.6)$$

Entonces;

$$V_{TC} = \pi * r^2 * h - V_{Cúp} \quad (2.15)$$

Dónde:

V_{TC} : volumen del tanque de compensación, m³

$V_{Cúp}$: volumen de la cúpula, m³

r : radio del tanque de compensación, que coincide con el del biodigestor, m

h : Altura del tanque de compensación (variable que determina el volumen del tanque de compensación, pues el radio ya está determinado), m

Determinar el volumen total del biodigestor.

Este volumen coincidirá con la suma de los volúmenes de cada sección, y se calcula de la siguiente forma:

$$V_{Biod.} = V_{cono} + V_{CD} + V_{Cúp} + V_{cuello} \quad (2.16)$$

2.2.1 Dimensionamiento del registro de carga, de compensación y de evacuación de lodos sedimentados.

En su dimensionamiento se tuvo en cuenta las consideraciones que se relacionan a continuación:

Registro de carga

Para su construcción se tuvo presente que el piso del mismo, donde se acopla el tubo de entrada de la biomasa al biodigestor, debe estar como mínimo 5 cm por

encima de la salida del efluente líquido del tanque de compensación. Esto es necesario para evitar el retorno de la biomasa. Antes del registro de carga, o en el mismo se debe construir un desarenador, cuya función es eliminar mediante la sedimentación el material inorgánico (piedra, arena, tierra) que pueda venir mezclado con la biomasa. Las dimensiones del registro de carga se deben calcular considerando el volumen máximo de biomasa diario, con un incremento del 10 al 15 % (Sánchez *et al.*, 2011).

El volumen del registro de carga se determina por la ecuación 2. 17;

$$V_{RC} = l * a * h \quad (2.17)$$

Dónde:

l: largo del registro de carga, m

a: ancho del registro de cara, m

h: altura del registro de carga, m

Registro de compensación

Este dispositivo permite comunicar la cámara de digestión del biodigestor con el tanque de compensación, a través de la ventana de compensación, que es por donde sale la biomasa digerida debido a la presión del biogás sobre la misma. Al diseñar este registro se tuvo presente las dimensiones de esta ventana, la cual debe permitir el acceso de una persona al biodigestor, para reparaciones o limpieza, cuando el biodigestor esté tiempo sin funcionar, en la literatura se recomienda 0,6m * 0,6 m. (Sánchez *et al.*, 2009).

El volumen del registro de compensación por ser también un paralelogramo se calcula mediante la ecuación 2.17.

Registro de evacuación de lodos sedimentados

La principal condición para su diseño, es que el nivel del piso del mismo debe coincidir con el nivel inferior de la cámara de almacenamiento de biogás (cúpula), quiere decir con la base de la cúpula o casquete esférico. El largo del registro dependerá del ángulo de inclinación que tenga el tubo de salida del mismo (Sánchez *et al.*, 2011).

$$V_{REL} = l * a * h \quad (2.17)$$

2.3 Selección de los materiales para la construcción del biodigestor de cúpula fija.

Según (Hilbert., 2011), la selección de los materiales de construcción se realiza teniendo en cuenta los siguientes pasos:

1) Función y condiciones de trabajo a que será expuesto el material de construcción:

- ❖ Características de las sustancias y medios con los que interaccionan.
- ❖ Esfuerzos mecánicos a los que será sometido el material.
- ❖ Uso del material.

2) Selección y evaluación de los materiales posibles.

Se asume que los materiales presentan las propiedades deseadas y de no conocerse se realiza la evaluación de las mismas.

Propiedades de los materiales que se analizan:

- ❖ Propiedades físico-químicas.
- ❖ Propiedades mecánicas.
- ❖ Características técnicas.

3) Selección del material mediante un análisis costo-beneficio. En este paso se escogen los materiales anteriormente definidos. Para esto se comparan atendiendo a:

- ❖ Costo de adquisición del material.
- ❖ Frecuencia de mantenimiento.
- ❖ Frecuencia de reposición (tempo de vida útil).
- ❖ Costos de fabricación.

4) Disponibilidad y tiempo de entrega:

Este paso es muy importante en nuestras condiciones, por razones de mercado, financiamiento y tiempo disponible para la ejecución de la tarea, se debe analizar de los materiales posibles cual es el que reúne la mayor cantidad de las propiedades o condiciones exigidas. Los materiales seleccionados se relacionan en la Tabla 2.2, Anexo11.

2.4 Cálculos de la masa de virutas de hierro a emplear en el filtro para eliminar el sulfuro de hidrógeno.

Dado el alto poder corrosivo y tóxico del sulfuro de hidrógeno y el mal olor que le comunica al biogás, es necesario eliminarlo. El método más empleado para eliminar el $H_2S_{(g)}$ contenido en el biogás es mediante su absorción en un filtro, empleando compuestos que tengan hierro (Blanco *et al.*, 2012). También son muy empleadas con este fin las virutas de hierro producidas en los talleres de maquinado, las cuales se encuentran fácilmente disponibles para ser usadas con este fin.

A continuación se explica la metodología para determinar la masa de virutas de hierro a emplear en el llenado del filtro para eliminar el $H_2S_{(g)}$:

- 1) Conocer el volumen de biogás que produce el biodigestor.
- 2) Determinar el volumen de sulfuro de hidrógeno en el biogás, considerando que por cada m^3 de biogás hay 0.1% de $H_2S_{(g)}$ (Montes, 2008).
- 3) Calcular la cantidad de sustancia de sulfuro de hidrógeno presente en el biogás a través de la ecuación:

$$n = \frac{V_{H_2S}}{V_M} \quad (2.18)$$

Dónde:

n : cantidad de sustancia de $H_2S_{(g)}$, moles

V_{H_2S} : volumen de $H_2S_{(g)}$ en el biogás, m^3

V_M : volumen que ocupa un mole de cualquier gas en condiciones de temperatura y presión estándar ambiental (TPEA, 298 K e 1 atm), igual a 24.8 L/mol (Sánchez y González., 2011).

Determinar la masa de Fe (cantidad de virutas) a utilizar para eliminar el $H_2S_{(g)}$, a partir de la ecuación:

$$\left[\frac{m(Fe)}{m(H_2S)} \right]_{RCE} = \left[\frac{n(Fe) * M(Fe)}{n(H_2S) * M(H_2S)} \right]_{RCT} \quad (2.19)$$

Donde:

$m(Fe)$: masa de Fe necesaria/día, g

$M(Fe)$: masa molar del Fe (55,9 g/mol)

$n(Fe)$: cantidad de sustancia de Fe, moles

$m(H_2S)$: masa de H_2S producida/día, g

$M(H_2S)$: masa molar del H_2S (34 g/mol)

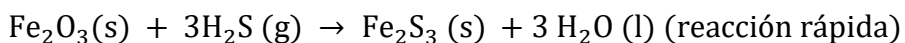
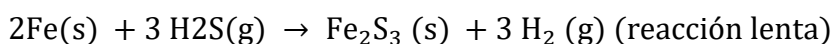
$n(H_2S)$: cantidad de sustancia de H_2S , moles

La masa de H_2S producida por día se calcula multiplicando la masa molar del H_2S por la cantidad de sustancia obtenida por día:

$$m(H_2S) = n(H_2S) * M(H_2S) \quad (2.20)$$

Con este dato podemos calcular la masa de hierro necesaria para eliminar el $H_2S_{(g)}$ producido en 40 días de producción de biogás.

Las reacciones que describen este proceso se muestran a continuación:



2.5 Formulación de la entrevista.

La entrevista como método empírico de investigación constituye una conversación de carácter planificado entre el entrevistador y el (los) entrevistado(s), en que se establece un proceso de comunicación en el que intervienen de manera fundamental los gestos, las posturas y todas las diferentes expresiones, no solo verbales, tanto del que entrevista como del que se encuentra en el plano de entrevistado.

Existen diferentes clasificaciones de la entrevista teniendo en cuenta su estructura, el número de entrevistados, el objetivo de la entrevista y su función.

En Tabla 2.3, Anexo 12 se muestran estas clasificaciones

En la entrevista se le dio respuestas a las siguientes situaciones:

1. Cantidad de viviendas en la finca.
2. Cantidad de personas por vivienda.
3. Posibles usos para el biogás producido y para el lodo generado por el proceso de digestión anaeróbica.
4. Cantidad de animales que permanecen estabulados más de 6 horas diarias.
5. Composición del rebaño atendiendo al número de animales por clasificación.
6. Peso medio de los animales atendiendo a su clasificación.

2.6 Valoraciones de la viabilidad económica de la construcción del biodigestor de cúpula fija y determinación del costo de construcción

Esta valoración se realizó en dos partes: primero se determinó el costo de construcción del biodigestor de cúpula fija y el valor de la producción del biodigestor, para luego realizar la evaluación de la inversión.

El costo de construcción del biodigestor se determinó desde los siguientes aspectos:

- ❖ Costo de la excavación.
- ❖ Costo de los materiales de construcción.
- ❖ Costo de la mano de obra.

Para la determinación de los costos por concepto de excavación y mano de obra se escogieron los precios establecidos por las empresas constructoras que se dedican a esta actividad.

Los costos que se emplean en los materiales de construcción, accesorios y tuberías, son los registrados por las tiendas minoristas de productos industriales y los almacenes de materiales de construcción.

Costo de la excavación.

Es el costo incurrido en la extracción del volumen de tierra (m^3) para la construcción del biodigestor y el registro de evacuación de lodos sedimentados, que son las áreas del biodigestor que se encuentran soterradas. Se determinó desde la expresión:

$$CE = V_E * P_E \quad (2.21)$$

Dónde:

C_E : Costo total de la excavación, cup

V_E : volumen de la excavación, m^3

P_E : precio de la excavación por m^3 , (cup/ m^3)

Costo de los materiales de construcción y de mano de obra.

La cuantificación de estos costos se realizó teniendo en cuenta el volumen del biodigestor a construir. La metodología para su determinación se muestra a continuación:

1. Se calculó la cantidad total de ladrillos que se necesitan para construir las paredes del biodigestor, del registro de carga, compensación y evacuación de lodos sedimentados, así como la cúpula y el cuello, mediante las siguientes ecuaciones, aplicadas a cada una de las áreas mencionadas:

$$N(\text{ladrillos}) = \frac{A(\text{de la sección})}{A(\text{ladrillo})} \quad (2.22)$$

Donde:

$N(\text{ladrillos})$: número de ladrillos, u

$A(\text{de la sección})$: área de la sección que se calcula, m²

$A(\text{ladrillo})$: área por ladrillo, teniendo en cuenta la posición del ladrillo, m²/ladrillo

2. Se determinó el área total a repellar y fundir:

Debido a las diferentes formas geométricas de las distintas partes del biodigestor, el área se determinó mediante las siguientes ecuaciones:

Materiales para el cono del fondo:

$$A_{\text{cono}} = [\pi * r^2] + [\pi * r * g] \quad (2.23)$$

Donde:

A_{cono} : área del cono del fondo del biodigestor, m²

r : radio del cono, m

g : generatriz, (en un cono recto coincide con la altura), m

$$V_{FC} = A_{\text{cono}} * h_{fc} \quad (2.24)$$

Donde:

V_{FC} : volumen de fundición del cono, m³

A_{cono} : Área del cono, m²

h_{fc} : altura de fundición del cono, m

Materiales para la cámara de digestión:

$$A_{CD} = \pi * D * h \quad (2.25)$$

Dónde:

A_{CD} = área de la cámara de digestión, m²

D = diámetro de la cámara de digestión, m

h = altura, m

a. Número de ladrillos de la cámara de digestión:

Los ladrillos de la Cámara de digestión se colocan en citara, si están acostados sobre su lado de mayor área. Para determinar el número de ladrillos se necesita conocer el área del ladrillo en citara. Las medidas del ladrillo son; (28,5 cm x 17,9 cm x 10.8 cm).

$$\# \text{ ladrillos} = \frac{A_c}{A_{CIT}} \quad (2.26)$$

Donde:

Ladrillos: cantidad de ladrillos, u

A_c : Área del cuello, m^2

A_{CIT} : Área de ladrillo en citara, m^2

$$A_{CIT} = l * a \quad (2.27)$$

Dónde:

A_{CIT} : Área del ladrillo en citara, m^2

l: largo, m

a: ancho del lado más estrecho, m

b. Materiales para levantar los ladrillos de la cámara de digestión:

❖ Cemento

❖ Arena

❖ Piedra en polvo (PP)

c. Materiales para el repello de la cámara de digestión.

$$V_{\text{repello C.D.}} = A_{CD} * h_{\text{repello}} \quad (2.28)$$

Donde:

$V_{\text{repello C.D.}}$: volumen de repello de la cámara de digestión, m^3

A_{CD} : Área de repello de la cámara de digestión, m^2

h_{repello} : Altura de repello de la cámara de digestión (teniendo en cuenta un repello de 1 cm por cara), m

d. Materiales para el betún de la cámara de digestión.

Para determinar los materiales necesarios para el betún de la cámara de digestión se necesita partir del área total a cubrir con el betún y desde ese dato calcular el volumen total del betún:

$$V_{\text{betún C.D.}} = A_{CD} * h_{\text{betún}} \quad (2.29)$$

Donde:

A_{CD} : Área de la cámara de digestión, m^3

$V_{betún\ C.D.}$: Volumen de betún en la cámara de digestión, m^2

$h_{betún}$: altura de betún, m

Materiales para la cúpula:

$$A_{Cúp.} = \pi (r^2 + h^2) \quad (2.30)$$

Donde:

$A_{Cúp.}$: área de la cúpula, m^2

r: radio de la cúpula, m

h: alto de la cúpula, m

a. Número de ladrillos en la cúpula:

$$\#ladrillos = \frac{A_{Cúp.}}{A_{ladrillo\ en\ citara}} \quad (2.26)$$

b. Materiales para levantar los ladrillos de la cúpula;

- ❖ Cemento
- ❖ Arena
- ❖ Piedra en polvo (PP)

c. Materiales para el repello de la cúpula;

$$V_{repelloCúp.} = A_{Cúp.} * h_{repello} \quad (2.31)$$

Donde:

$V_{repelloCúp.}$: Volumen de repello de la cúpula, m^3

$A_{Cúp.}$: Área de la cúpula, m^2

$h_{repello}$: altura de repello de la cúpula, m

d. Materiales para el betún de la cúpula;

$$V_{betún\ Cúp.} = A_{Cúp.} * h_{betún} \quad (2.32)$$

Donde:

$V_{betúnCúp.}$: volumen del betún de la cúpula, m^3

$A_{Cúp.}$: Área de la cúpula, m^2

$h_{betún}$: altura del betún de la cúpula, m

Después de terminado el betún interior de la cúpula esta debe ser cubierta con un betún especial formado por una mezcla de cemento y cal, con una consistencia pastosa y aplicado sobre la superficie interna de la cúpula y el

cuello con el objetivo de impermeabilizar esta sección a gas. Para esto se necesita de:

- 1 bolsa de cal.
- 1 bolsa de cemento.

Materiales para el cuello:

$$A_{\text{cuello}} = \pi * D * h \quad (2.33)$$

Donde:

D: diámetro del cuello, m

h: altura del cuello, m

a. Determinación del número de ladrillos del cuello;

$$\# \text{ ladrillos} = \frac{A_c}{A_{citr}} \quad (2.26)$$

b. Materiales para levantar los ladrillos del cuello;

- ❖ Cemento
- ❖ Arena
- ❖ Piedra en polvo (PP)

c. Materiales para el repello del cuello;

$$V_{\text{repello.cuello}} = A_{\text{cuello}} * h_{\text{repello}} \quad (2.31)$$

Donde:

$V_{\text{repello.cuello}}$: Volumen de repello del cuello, m³

A_{cuello} : Altura del cuello, m²

h_{repello} : Altura del repello de cuello, m

d. Materiales para el betún del cuello;

$$V_{\text{betúncuello}} = A_{\text{cuello}} * h_{\text{betún}} \quad (2.34)$$

Donde:

$V_{\text{betún.cuello}}$: Volumen de repello del cuello, m³

A_{cuello} : Altura del cuello, m²

$h_{\text{betún}}$: Altura de betún del cuello, m

Materiales para el registro de compensación:

❖ Fundición del piso del registro de compensación;

$$V_{\text{fund.R.C.}} = A_{\text{piso R.C}} * h_{\text{fundición}} \quad (2.35)$$

Donde:

$V_{fund.R.C.}$: Volumen de fundición del piso del registro de compensación, m^3

$A_{piso R.C.}$: Área del piso del registro de compensación, m^2

$h_{fundición}$: Altura del piso del registro de compensación, m

$$A_{piso R.C.} = largo * ancho \quad (2.36)$$

❖ Número de ladrillos del registro de compensación;

Para determinar el número de ladrillos es necesario conocer el área total de las paredes del registro de compensación. Los ladrillos en la construcción del registro de compensación, el registro de carga y el tanque de compensación se sitúan en posición de citara (parados sobre el lado más largo y estrecho);

$$A_{R.Comp.} = (A_{1 pared} * \# P) \quad (2.37)$$

Donde:

$A_{R.Comp.}$: Área total de las paredes del registro de compensación, m^2

$A_{1 pared}$: Área de una de las paredes, m^2

P: número de paredes, u

$$\# ladrillos = \frac{A_{R.Comp.}}{A_{CIT}} \quad (2.26)$$

1. Materiales para levantar los ladrillos del registro de compensación;

- ❖ Cemento
- ❖ Arena
- ❖ Piedra en polvo

d. Materiales para el repello del registro de compensación;

$$V_{repello R.Comp.} = A_{R.Comp.} * h_{repello} \quad (2.31)$$

e. Materiales para el betún del registro de compensación;

$$V_{betún R.C.} = A_{R.C.} * h_{betún} \quad (2.34)$$

Materiales para el registro de carga:

a. Fundición del piso del registro de carga;

$$A_{piso R.C.} = l * a \quad (2.36)$$

Donde:

$A_{piso R.C.}$: Área del piso del registro de carga, m^3

l: largo del piso del registro de carga, m

a: ancho del piso del registro de carga, m

b. Número de ladrillos del registro de carga;

$$A_{R.C.} = (A_{1\text{ pared}} * \# \text{ de paredes}) \quad (2.37)$$

$$\# \text{ ladrillos} = \frac{A_{R.C.}}{A_{\text{ladrillo en cirtara}}} \quad (2.26)$$

c. Materiales para levantarlos ladrillos del registro de carga;

- ❖ Cemento
- ❖ Arena
- ❖ Piedra en polvo

d. Materiales para el repello del registro de carga;

$$V_{\text{repello R.C.}} = A_{R.C.} * h_{\text{repello}} \quad (2.31)$$

e. Materiales para el betún del registro de carga;

$$V_{\text{betún R.C.}} = A_{R.C.} * h_{\text{betún}} \quad (2.34)$$

Materiales para el registro de evacuación de lodos sedimentación:

a. Fundición del piso de registro de evacuación de lodos sedimentados;

$$A_{\text{piso R.L.S.}} = l (\text{largo}) * a (\text{ancho}) \quad (2.36)$$

$$V_{\text{fund.R.L.S.}} = A_{\text{piso R.C.}} * h_{\text{fundición}} \quad (2.35)$$

b. Números de ladrillos del registro de evacuación de lodos sedimentado;

$$\Sigma = A_{\text{pared 1}} + A_{\text{pared 2}} + A_{\text{pared 3}} + A_{\text{pared 4}} \quad (2.37)$$

$$\# \text{ ladrillos} = \frac{A_{R.C.}}{A_{\text{ladrillos en cirtara}}} \quad (2.26)$$

c. Materiales para levantar los ladrillos en el registro de evacuación de lodos sedimentados;

- ❖ Cimento
- ❖ Arena
- ❖ Piedra en polvo

d. Materiales para el repello de registro de evacuación de lodos sedimentados;

$$V_{\text{repello R.L.C}} = A_{R.L.C} * h_{\text{repello}} \quad (2.31)$$

e. Materiales para el betún del registro de evacuación de lodos sedimentados;

$$V_{\text{betún R.L.S}} = A_{R.L.S} * h_{\text{betún}} \quad (2.34)$$

2.7 Cálculos para el rendimiento y diseño de un aerogenerador Savonius

$$\text{Fuerza de arrastre: } F_{arr} = \frac{1}{2} * \rho * S * \{(v + u)^2 - 0,2 (v - u)^2\} \quad (2.39)$$

$$\text{Potencia: } N_{\acute{u}til} = \frac{1}{2} * \rho * S * \{(v + u)^2 - 0,2 (v - u)^2\} * u \quad (2.40)$$

Para valores de C_y del orden de 0,3 se admite, en primera aproximación, que:

$$N_{\acute{u}til} = \frac{1}{2} * \rho * S * C_y * u^3 \quad (2.41)$$

Otra expresión para la potencia útil en función del factor k de conversión de la energía del viento es:

$$N_{\acute{u}til} = \frac{1}{2} * \rho * A * V * \eta * k^3 \quad (2.42)$$

En la que para v expresada en m/seg, A en m^2 , y $k = 0,00136$, se obtiene la potencia en kW; si los semicilindros tienen un diámetro d se tiene:

$$A = h * (2 * d - e) \quad (2.43)$$

La potencia alcanza un valor máximo para velocidades u próximas a $\frac{v}{6}$.

Las fuerzas de sustentación y de arrastre aparecen por efecto Magnus; el rotor frena al viento por una parte (sotavento), mientras lo acelera por la contraria (barlovento). La fuerza ascensional empuja lateralmente al rotor mientras que la fuerza de arrastre lo empuja hacia abajo. Estas fuerzas se pueden expresar en la forma:

$$F_{asc} = 1,08 * C_y * \rho * A * v^2 \quad (2.44)$$

$$F_{arr} = 1,08 * C_x * \rho * A * v^2 \quad (2.45)$$

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se hace un análisis de los resultados para el cálculo del diseño formado por el biodigestor y el agitador eólico. Donde se mostrarán los resultados de la investigación que le dan cumplimiento a los objetivos planteados.

Se expone el procedimiento para estimar la viabilidad económica de la construcción del biodigestor, a través de los indicadores de la evaluación de la inversión, tales como: retorno de la inversión, plazo de recuperación de la inversión, valor actual neto y la tasa interna de rentabilidad.

3.1 Resultados de la entrevista.

- ❖ Se entrevistó al dueño de la finca, el cual nos dio información sobre las producciones de la misma y se realizó énfasis en la composición del rebaño, el cual está constituido al momento de la entrevista por 113 cerdos.
- ❖ Se obtuvo información sobre el peso vivo medio de los animales (50kg) y sobre el tiempo que los mismos permanecen estabulados (24h).
- ❖ También se obtuvo información sobre el número de viviendas en la finca, el cual es de dos viviendas con un número de habitantes que oscila entre las cinco personas por viviendas.
- ❖ Se entrevistó al jefe del núcleo familiar con el fin de determinar las condiciones de cada vivienda para el uso de la energía, haciendo énfasis en el tipo de combustible utilizado en la cocción de los alimentos, el tipo de iluminación nocturna y la disposición para el uso del biogás como combustible de uso doméstico y para la iluminación nocturna.
- ❖ Se obtuvo como resultado de estas entrevistas que la vivienda usa como combustible doméstico el carbón vegetal y la leña y en menos escala, el gas y la electricidad. El propietario muestra gran disposición para el empleo del biogás como fuente de energía para uso doméstico.
- ❖ No tienen experiencia del uso de los efluentes del proceso de fermentación anaeróbica como medio de fertilización de los suelos y de las aguas para la cría de peces.

3.2 Resultados del diseño del biodigestor

$$m_c = N * \left[\frac{PVP}{PVE} \right] * m_t * \left[\frac{TE}{24h} \right] \quad (2.1)$$

N = número de cerdos (113)

PVP = peso vivo promedio (50kg)

PVE = peso vivo equivalente (50 kg)

m_t = masa de excreta equivalente (2.25 kg)

TE = Tiempo de estabulación (24h)

Está calculado que un cerdo de aproximadamente 50 kg de peso corporal aporta diariamente 2,25 kg de excretas húmedas y que con éstas se genera 0,101 m³ de biogás, por tanto se simplificaría la ecuación como se muestra a continuación:

$$m_c = N * m_t \quad (2.2)$$

$$m_c = 254,25 kg$$

Ahora con este dato y los aportados en la Tabla 2.1, Anexo 10, se puede calcular el volumen de la cámara de digestión del biodigestor aplicando la ecuación (2.3).

$$V_{CD} = m_A + m_c * TR * 10^{-3} * m^3 * kg^{-1} * dias^{-1} \quad (2.3)$$

Se determina la masa de agua necesaria de acuerdo al tipo de biomasa y el tiempo de retención, Tabla 2.1, Anexo 10, aplicando la ecuación (2.2):

$$m_A = REA * m_c \quad (2.2)$$

$$m_A = 254,25 kg$$

Volumen de la cámara de digestión

$$V_{CD} = (254,25 kg + 254,25 kg) * 40 días * 10^{-3} m^3 * kg^{-1} * días^{-1} \quad (2.3)$$
$$V_{CD} = 20.34 m^3$$

Conocido el volumen necesario para la cámara de digestión ahora se debe proceder a los cálculos de las dimensiones que debe tener esta parte del biodigestor, en la cual ocurren los procesos de fermentación anaeróbica

Para determinar estas dimensiones, conociendo que esta parte del biodigestor tiene forma cilíndrica, se procede a la determinación de las mismas por el método de comparación con el volumen calculado de acuerdo a la biomasa generada, (Ver ecuación 2.4) obteniendo los siguientes valores;

- ❖ Diámetro de la cámara de digestión (D) = 4 m,
- ❖ Radio de la cámara de digestión (r) = 2 m,
- ❖ Altura da cámara de digestión (h) = 1,62 m,

$$V_{CD} = h * \pi * r^2 \quad (2.4)$$

$$V_{CD} = 20,35 \text{ m}^3$$

Como se puede apreciar con estas dimensiones se dispone del volumen necesario para asimilar el total de la biomasa generada.

A partir de las dimensiones de la cámara de digestión se procede a la determinación de las dimensiones de las demás secciones del biodigestor con el fin de poder elaborar el plano para su construcción.

Además de la cámara de digestión de forma cilíndrica, el biodigestor de cúpula fija consta también con un fondo en forma cónica, la cúpula en forma de casquete esférico y el cuello que también tiene forma cilíndrica, estas dos últimas partes constituyen en su conjunto la zona de almacenamiento del biogás, por eso sus dimensiones deben estar en correspondencia con el volumen de este generado por día y el consumo planificado de acuerdo al uso que se le dará a este combustible por parte de los diferentes equipos de consumo acoplados al sistema.

Además de las partes antes señaladas, en las que ocurre todo el proceso de digestión de la biomasa y almacenamiento del biogás, el biodigestor debe tener también un tanque o laguna de compensación, con el fin de compensar las presiones interiores y evitar que la presión generada por el biogás producido pueda explotar la cámara de digestión, lo que puede provocar un accidente fatal para las personas que estén cerca del biodigestor además de constituir una pérdida económica considerable por la pérdida del mismo.

El volumen del tanque de compensación debe ser tal que pueda retener los lodos finales durante su tiempo de estabilización, que es el tiempo que necesitan para que se termine de estabilizar la biomasa por la acción de los factores aeróbicos y de las radiaciones solares, fundamentalmente las radiaciones ultravioletas que contribuyen a eliminar los vestigios de algún patógeno que pueda haber resistido el proceso de digestión anaeróbica, entre estos patógenos

podiesen existir trazas de salmonela y huevos de helmintos si la masa animal se encuentra parasitada, este tiempo oscila entre los 7 y 15 días. Estos patógenos son vulnerables a la acción oxidativa del aire y la esterilización por la radiación solar (Sánchez et., al. 2013).

Dimensiones del fondo cónico del biodigestor:

- Radio (r) = 2m
- Altura (h) = 0,25 m

$$V_{cono} = \frac{\pi * r^2 * h}{3} \tag{2.5}$$

$$V_{cono} = 1,04m^3$$

Dimensiones de la cúpula esférica del biodigestor:

- Altura (h) = 1 m
- Radio (r) = 2m

$$V_{cúp} = \pi h^2 * \left[r - \frac{h}{3} \right] \tag{2.6}$$

$$V_{cúp} = 5,236m^3$$

Dimensiones del cuello del biodigestor:

- Radio (r) = 0,3 m
- Altura (h) = 0,6 m

$$VCuello. = \pi * r^2 * h \tag{2.7}$$

$$VCuellos = 0,1696 m^3$$

3.3 Resultado del balance de masa en el biodigestor.

$$V_G = V_{Gcerdos} * N \tag{2.10}$$

$$V_G = 11,413m^3$$

Con este dato ahora se puede aplicar la ecuación 2.9 para calcular la masa de biogás generada por día:

$$m_G = V_G * m_p \tag{2.9}$$

$$m_G = 11,9266kg$$

La masa de la suspensión (m_S), se determina por la masa de excreta más la masa de agua;

$$m_S = (m_{exc.} + m_{agua}) \tag{2.11}$$

$$m_S = 508,5kg$$

Aplicando la ecuación 2.8 se calcula ahora la masa del efluente;

$$m_{EF} = m_S - m_G \quad (2.8)$$

$$m_{EF} = 496,5734\text{kg}$$

$$V_{EF} = \frac{m_{EF}}{\rho_S} \quad (2.12)$$

$$V_{EF} = 0,4965\text{m}^3/\text{dia}$$

$$V_{TC} = V_{EF} * T_{Est} \quad (2.13)$$

$$V_{TC} = 7,45\text{m}^3$$

$$V_{TC} = \pi * r^2 * h - \left[\pi * h_c^2 * \left(r_c - \frac{h_c}{3} \right) \right] \quad (2.14)$$

$$V_{Cúp} = \pi h c^2 \left(r_c - \frac{h_c}{3} \right) \quad (2.6)$$

$$V_{TC} = \pi * r^2 * h - V_{Cúp} \quad (2.15)$$

$$V_{TC} = 7,958\text{m}^3$$

Como se puede observar el volumen del tanque de compensación es ligeramente superior a lo que se necesita para obtener un tiempo de estabilización de los lodos de 15 días, esto unido a que se toma el número máximo de días para obtener la estabilización garantiza la inocuidad de los lodos y la viabilidad de su uso directo en los procesos de fertilización de los suelos, así como las aguas para la cría de peces.

Determinar el volumen total del biodigestor.

$$V_{Biod.} = V_{cono} + V_{CD} + V_{Cúp} + V_{cuello} \quad (2.16)$$

$$V_{Biod.} = 26,86\text{m}^3$$

3.4 Resultado del dimensionamiento del registro de carga, de compensación y de evacuación de lodos sedimentados.

En su dimensionamiento se tuvo en cuenta las consideraciones que se relacionan a continuación:

Registro de carga

En este caso como la recogida de la biomasa se realiza de forma manual se consideró la carga de forma discontinúa, por eso el volumen del registro de carga se determinó de la siguiente forma:

$$\text{Largo } (l) = 1\text{m}$$

$$\text{Ancho } (a) = 1\text{m}$$

Altura (h) = 0,80 m

$$V_{RC} = l * a * h \quad (2.17)$$

$$V_{RC} = 0.8m^3$$

Registro de compensación

Las medidas de este registro son las siguientes:

Largo (l) = 0,60 m

Ancho (a) = 0,60 m

Altura (h) = 2,54 m

$$V_{RComp} = l * a * h \quad (2.17)$$

$$V_{RComp} = 0,9144 m^3$$

Registro de evacuación de lodos sedimentado

Las medidas del registro de evacuación de lodos sedimentados son las siguientes, el volumen también se calcula mediante la ecuación 2.17;

Largo (l) = 2,24 m

Ancho (a) = 1 m

Altura (h) = 1,26 m

$$V_{REL} = l * a * h \quad (2.17)$$

$$V_{REL} = 2,8224 m^3$$

3.5 Resultado de la masa de virutas de hierro a emplear en el filtro para eliminar el sulfuro de hidrógeno.

Calcular la cantidad de sustancia de sulfuro de hidrógeno presente en el biogás a través de la ecuación:

$$V_G = 11,413m^3$$

Una vez calculado el volumen del gas, se determina el volumen de sulfuro de hidrógeno en el biogás, considerando que por cada m^3 de biogás hay 0.1% de $H_2S_{(g)}$.

$$V_{H_2S} = 0,011413m^3 = 11,413dm^3$$

$$n = \frac{V_{H_2S}}{VM} \quad (2.18)$$

$$n = 0,856 \approx 0,86 \text{ mol}$$

$$\left[\frac{m(Fe)}{m(H_2S)} \right]_{RCE} = \left[\frac{n(Fe) * M(Fe)}{n(H_2S) * M(H_2S)} \right]_{RCT} \quad (2.19)$$

$$m(H_2S) = n(H_2S) * M(H_2S) \quad (2.20)$$

$$m(H_2S) = 0,86 \text{ mol} * 34 \text{ g/mol}$$

$$m(H_2S) = 29,24 \text{ g}$$

Para esto realizamos el correspondiente despeje de la ecuación 2.19:

$$m(Fe) = \frac{m(Fe) * M(Fe) * m(H_2S)}{n(HS) * M(H_2S)}$$

$$m(Fe) = 104 \text{ g}$$

Producción de biogás/día	V (H ₂ S)	m(Fe)	m (Fe)/40días
11,413m ³ /día	0,011413m ³	0,104 kg	4,16 kg

Tabla 2.4; Producción de biogás por día, Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la masa de virutas de Fe necesarias para eliminar el H₂S durante 40 días, será necesario construir un filtro con una capacidad aproximada de 5 kg de virutas de Fe y se tendrá que cambiar el relleno cada 40 días.

3.6 Determinación del costo de construcción del biodigestor de cúpula fija.

Costo de la excavación.

$$CE = V_E * P_E \quad (2.21)$$

$$CE = 40 \text{ m}^3 * 150 \frac{\text{cup}}{\text{m}^3} = 6000 \text{ cup}$$

Costo de los materiales de construcción y de mano de obra.

$$N(\text{ladrillos}) = \frac{A(\text{delasección})}{A(\text{ladrillo})} \quad (2.22)$$

Se determinó el área total a repellar y fundir:

Materiales para el cono del fondo:

$$A_{\text{cono}} = [\pi * r^2] + [\pi * r * g] \quad (2.23)$$

$$A_{\text{cono}} = 14,1372 \text{ m}^2$$

$$V_{FC} = A_{\text{cono}} * h_{fc} \quad (2.24)$$

$$V_{FC} = 14,1372 \text{ m}^2 * 0,10 \text{ m}$$

$$V_{FC} = 1,41372 \text{ m}^3$$

Según la proporción establecida para la mezcla de hormigón de baja densidad, ver (NC 175-202); Anexo 13 (1 volumen de cemento: 2 volumen de arena: 2,5 volumen de grava). Para 1 m³ de hormigón de baja densidad se necesita de:

❖ Cemento;

$$\frac{1 \text{ m}^3}{7,06 \text{ bolsas de cemento}} = \frac{1,413772 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 9,8 \approx 10 \text{ bolsas de cemento}$$

❖ Arena;

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,8 \text{ m}^3 \text{ de arena}} = \frac{1,413772 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 1,13 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Materiales para la cámara de digestión:

$$A_{CD} = \pi * D * h \quad (2.25)$$

$$A_{CD} = 20,3575 \text{ m}^2$$

a. Número de ladrillos de la cámara de digestión:

$$A_{CIT} = l * a \quad (2.27)$$

$$A_{CIT} = 0,285 \text{ m} * 0,108 \text{ m}$$

$$A_{CIT} = 0,031 \text{ m}^2 / \text{ladrillo}$$

$$\# \text{ ladrillos} = \frac{A_{CD}}{A_{CIT}} \quad (2.26)$$

$$\# \text{ ladrillos} = 656,69 \approx 657 \text{ ladrillos}$$

b. Materiales para levantar los ladrillos de la cámara de digestión:

Para levantar 100 ladrillos se necesita 1 bolsa de cemento, la arena y la piedra en polvo según la NC 175-202, Anexo 13: 237kg de cemento; 60% de arena; 40% de piedra en polvo (para levantar 100 ladrillos se necesita de 1 bolsa de cemento, 0,11 m³ de arena y 0,04 m³ de piedra en polvo).

❖ Cemento;

$$\frac{\text{bolsa de cemento}}{100 \text{ ladrillos}} = \frac{X}{657 \text{ ladrillos}}$$

$$X = 6,57 \text{ bolsas de cemento}$$

❖ Arena;

$$\frac{0,11 \text{ m}^3}{100 \text{ ladrillos}} = \frac{X}{657 \text{ ladrillos}}$$

$$X = 0,723 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

❖ Piedra en polvo (PP);

$$\frac{0,04 \text{ m}}{100 \text{ ladrillos}} = \frac{X}{657 \text{ ladrillos}}$$

$$X = 0,263 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

c. Materiales para el repello de la cámara de digestión.

$$V_{\text{repello C.D.}} = A_{CD} * h_{\text{repello}} \quad (2.28)$$

$$V_{\text{repello C.D.}} = 0,40715 \text{ m}^3$$

Según NC 175-202, Anexo 13, para 1 m³ de repello se necesitan 5,6 bolsas de cemento, 0,6 m³ de arena y 0,4 m³ de piedra en polvo (PP), según la proporción 237 kg de cemento (5,6 bolsas):60% de arena:40 % de piedra en polvo(PP);

❖ Cemento;

$$\frac{m^3}{5,6 \text{ bolsas de cemento}} = \frac{0,40715 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 2,28 \text{ bolsas de cemento}$$

❖ Arena;

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,6 \text{ m}^3 \text{ de arena}} = \frac{0,40715 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,24429 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

❖ Piedra en polvo (PP);

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,4 \text{ m}^3 \text{ de PP}} = \frac{0,40715 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,16285 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Se considera un 30% de pérdida en el repello, por eso se hace necesario agregar a los cálculos de cada material este porcentaje de pérdidas.

❖ Cemento;

$$X = 0,684 \text{ bolsas}$$

Por tanto:

$$\text{Cemento} = 2,28 \text{ bolsas} + 0,684 = 2,964 \approx 3 \text{ bolsas}$$

❖ Arena:

$$X = 0,073287 \text{ m}^3$$

Por tanto:

$$\text{Arena} = 0,24429 \text{ m}^3 + 0,073287 \text{ m}^3 = 0,32 \text{ m}^3$$

❖ Piedra en polvo (PP);

$$X = 0,048855 \text{ m}^3$$

Por tanto:

$$PP = 0,16285 \text{ m}^3 + 0,048855 \text{ m}^3 = 0,212 \text{ m}^3$$

d. Materiales para el betún de la cámara de digestión.

Según NC 175-202, Anexo 13 para el betún se debe emplear la siguiente proporción de los materiales por metro cúbico del betún, (7,32 bolsas de cemento: 0,8 m³ de arena: 0,2 m³ de piedra en polvo)

$$A_{C.D.} = 20,3575 \text{ m}^2$$

$$V_{betún \text{ C.D.}} = A_{CD} * h_{betún} \quad (2.29)$$

$$V_{betún \text{ C.D.}} = 0,204 \text{ m}^3$$

❖ **Cemento:**

$$\frac{1 \text{ m}^3}{7,32 \text{ bolsas de cemento}} = \frac{0,204 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 1,5 \text{ bolsas de cemento}$$

Considerando el 30% de pérdidas:

$$X = 0,45 \text{ bolsas de cemento}$$

Por tanto:

$$\text{Cemento} = 1,5 \text{ bolsas} + 0,45 \text{ bolsas} = 1,95 \approx 2 \text{ bolsas}$$

❖ **Arena;**

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,8 \text{ m}^3 \text{ de arena}} = \frac{0,204 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,16 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Considerando el 30% de pérdidas:

$$X = 0,05 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Por tanto:

$$\text{Arena} = 0,16 \text{ m}^3 \text{ de arena} + 0,05 \text{ m}^3 \text{ de arena} = 0,21 \approx 0,2 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

❖ **Piedra en polvo (PP);**

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,2 \text{ m}^3 \text{ de PP}} = \frac{0,204 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,04 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Considerando el 30 % de pérdidas;

$$\frac{0,04 \text{ m}^3 \text{ de PP}}{100 \%} = \frac{X}{30 \%}$$

$$X = 0,012 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Por tanto:

$$PP = 0,04 \text{ m}^3 \text{ de PP} + 0,012 \text{ m}^3 \text{ de PP} = 0,052 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Materiales para la cúpula:

$$A_{\text{Cúp.}} = \pi (r^2 + h^2) \quad (2.30)$$

$$A_{\text{Cúp.}} = 15,708 \text{ m}^2$$

d. Número de ladrillos en la cúpula;

$$\# \text{ladrillos} = \frac{A_{\text{Cúp.}}}{A_{\text{ladrillo en c\u00edtara}}} \quad (2.26)$$

$$\# \text{ladrillos} = 507 \text{ ladrillos}$$

e. Materiales para levantar los ladrillos de la cúpula;

❖ Cemento;

$$\frac{1 \text{ bolsa}}{100 \text{ ladrillos}} = \frac{X}{507 \text{ ladrillos}}$$

$$X = 5,07 \text{ bolsas de cemento}$$

❖ Arena;

$$\frac{0,11 \text{ m}^3}{100 \text{ ladrillos}} = \frac{X}{507 \text{ ladrillos}}$$

$$X = 0,5577 \text{ m}^3 \approx 0,56 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

❖ Piedra en polvo;

$$\frac{0,04 \text{ m}^3}{100 \text{ ladrillos}} = \frac{X}{507 \text{ ladrillos}}$$

$$X = 0,203 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

f. Materiales para el repello de la cúpula;

$$V_{\text{repello Cúp.}} = A_{\text{Cúp.}} * h_{\text{repello}} \quad (2.31)$$

$$V_{\text{repello Cúp.}} = 0,31416 \text{ m}^3$$

❖ Cemento:

$$\frac{5,6 \text{ bolsas}}{1 \text{ m}^3} = \frac{X}{0,31416 \text{ m}^3}$$

$$X = 1,759296 \approx 2 \text{ bolsas}$$

Considerando un 30% de pérdidas;

$$X = 0,6 \text{ bolsas}$$

Por tanto:

$$\text{Cemento} = 2 \text{ bolsas} + 0,6 \text{ bolsas} = 2,6 \approx 3 \text{ bolsas}$$

❖ Arena;

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,6 \text{ m}^3 \text{ de arena}} = \frac{0,31416 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,188 \approx 2 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Considerando un 30% de pérdidas;

$$X = 0,06 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Por tanto:

$$\text{Arena} = 0,2 \text{ m}^3 + 0,06 \text{ m}^3 = 0,26 \text{ m}^3 \approx 0,3 \text{ m}^3$$

❖ Piedra en polvo (PP);

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,4 \text{ m}^3 \text{ de PP}} = \frac{0,31416 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,125664 \approx 0,13 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Considerando un 30% de pérdidas:

$$X = 0,039 \text{ m}^3$$

Por tanto:

$$PP = 0,13 \text{ m}^3 + 0,039 \text{ m}^3 = 0,169 \text{ m}^3 \approx 0,17 \text{ m}^3$$

d. Materiales para el betún de la cúpula;

$$V_{\text{betún Cúp.}} = A_{\text{Cúp.}} * h_{\text{betún}} \quad (2.32)$$

$$V_{\text{betún Cúp.}} = 15,705 \text{ m}^2 * 0,01 \text{ m}$$

$$V_{\text{betún Cúp.}} = 0,15708 \text{ m}^3$$

❖ Cemento;

$$\frac{1 \text{ m}^3}{7,32 \text{ bolsas de cemento}} = \frac{0,15708 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 1,498256 \approx 1,5 \text{ bolsas de cemento}$$

Considerando el 30% de pérdidas;

$$X = 0,45 \text{ bolsas de cemento}$$

Por tanto:

$$\text{Cemento} = 1,5 \text{ bolsas} + 0,45 \text{ bolsas} = 1,95 \approx 2 \text{ bolsas}$$

❖ Arena;

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,8 \text{ m}^3 \text{ de arena}} = \frac{0,15708 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,125664 \text{ m}^3 \approx 0,13 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Considerando el 30% de pérdidas;

$$X = 0,039\text{m}^3 \approx ,04 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Por tanto:

$$\text{Arena} = 0,13 \text{ m}^3 + 0,04 \text{ m}^3 = 0,17\text{m}^3$$

❖ Piedra en polvo;

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,2 \text{ m}^3 \text{ de PP}} = \frac{0,15708 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,031416\text{m}^3 \text{ de PP} \approx 0,03 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Considerando el 30 % de pérdidas;

$$\frac{0,03 \text{ m}^3 \text{ de PP}}{100 \%} = \frac{X}{30 \%}$$

$$X = 0,009 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Por tanto:

$$PP = 0,03 \text{ m}^3 \text{ de PP} + 0,009\text{m}^3 \text{ de PP} = 0,039 \text{ m}^3 \text{ de PP} \approx 0,04 \text{ m}^3 \text{ de P}$$

Materiales para el cuello:

$$A_{\text{cuello}} = \pi * D * h \tag{2.33}$$

$$A_{\text{cuello}} = 3,1416 * 0,6 \text{ m} * 0,6 \text{ m}$$

$$A_{\text{cuello}} = 1,1309 \text{ m}^2$$

b. Determinación del número de ladrillos del cuello;

$$\# \text{ ladrillos} = \frac{A_{\text{cuello}}}{A_{\text{ladrillo en citara}}} \tag{2.26}$$

$$\# \text{ ladrillos} = 36,48 \approx 37 \text{ ladrillos}$$

c. Materiales para levantar los ladrillos del cuello;

❖ Cemento;

$$\frac{1 \text{ bolsa}}{100 \text{ ladrillos}} = \frac{X}{37 \text{ ladrillos}}$$

$$X = 0,37 \text{ bolsas de cemento}$$

❖ Arena;

$$\frac{0,11 \text{ m}^3}{100 \text{ ladrillos}} = \frac{X}{37 \text{ ladrillos}}$$

$$X = 0,0407\text{m}^3 \approx 0,04\text{m}^3 \text{ de arena}$$

❖ Piedra en polvo;

$$\frac{0,04 \text{ m}^3}{100 \text{ ladrillos}} = \frac{X}{37 \text{ ladrillos}}$$

$$X = 0,0148 \approx 0,015 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

d. Materiales para el repello del cuello;

$$V_{\text{repello.cuello.}} = A_{\text{cuello.}} * h_{\text{repello}} \quad (2.31)$$

$$V_{\text{repello.cuello}} = 1,1309 \text{ m}^2 * 0,02 \text{ m}$$

$$V_{\text{repello.cuello}} = 0,022618 \text{ m}^3 \approx 0,023 \text{ m}^3$$

❖ Cemento;

$$\frac{5,6 \text{ bolsas}}{1 \text{ m}^3} = \frac{X}{0,023 \text{ m}^3}$$

$$X = 0,1288 \approx 0,13 \text{ bolsas}$$

Considerando un 30% de pérdidas;

$$X = 0,039 \text{ bolsas}$$

Por tanto:

$$\text{Cemento} = 0,13 \text{ bolsas} + 0,039 \text{ bolsas} = 0,169 \approx 0,17 \text{ bolsas}$$

❖ Arena;

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,6 \text{ m}^3 \text{ de arena}} = \frac{0,023 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,0138 \approx 0,014 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Considerando un 30% de pérdidas;

$$X = 0,0042 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Por tanto:

$$\text{Arena} = 0,014 \text{ m}^3 + 0,0042 \text{ m}^3 = 0,0182 \approx 0,019 \text{ m}^3$$

❖ Piedra en polvo (PP);

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,4 \text{ m}^3 \text{ de PP}} = \frac{0,023 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,0092 \approx 0,01 \text{ m}^3$$

Considerando un 30% de pérdidas;

$$X = 0,003 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Por tanto:

$$\text{PP} = 0,01 \text{ m}^3 + 0,003 \text{ m}^3 = 0,013 \text{ m}^3$$

d. Materiales para el betún del cuello;

$$V_{\text{betún.cuello.}} = A_{\text{cuello.}} * h_{\text{betún}} \quad (2.34)$$

$$V_{\text{betún.cuello.}} = 1,1309 \text{ m}^2 * 0,01 \text{ m}$$

$$V_{\text{betún.cuello.}} = 0,011309 \text{ m}^3$$

❖ Cemento;

$$\frac{1 \text{ m}^3}{7,32 \text{ bolsas de cemento}} = \frac{0,011309 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,0827818 \approx 0,08 \text{ bolsas de cemento}$$

Considerando el 30% de pérdidas;

$$X = 0,024 \text{ bolsas de cemento}$$

Por tanto:

$$\text{Cemento} = 0,08 \text{bolsas} + 0,024 \text{bolsas} = 0,104 \approx 0,1 \text{ bolsas}$$

❖ Arena;

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,8 \text{ m}^3 \text{ de arena}} = \frac{0,011309 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,009 \approx 0,01 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Considerando el 30% de pérdidas;

$$X = 0,003 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Por tanto

$$\text{Arena} = 0,01 \text{ m}^3 + 0,003 \text{ m}^3 = 0,013 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

❖ Piedra en polvo;

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,2 \text{ m}^3 \text{ de PP}} = \frac{0,011309 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,00226 \approx 0,0023 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Considerando el 30 % de pérdidas;

$$\frac{0,0023 \text{ m}^3 \text{ de PP}}{100 \%} = \frac{X}{30 \%}$$

$$X = 0,00069 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Por tanto:

$$PP = 0,0023 \text{ m}^3 + 0,00069 \text{ m}^3 = 0,00299 \approx 0,003 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Materiales para el registro de compensación;

❖ Fundición del piso del registro de compensación;

$$V_{fund.R.C.} = A_{piso R.C} * h_{fundición} \quad (2.35)$$

$$V_{fund. R. C.} = 0,49 \text{ m}^2 * 0,10 \text{ m}$$

$$V_{fund. R. C.} = 0,049 \text{ m}^3$$

$$A_{piso R.C.} = l * a \quad (2.36)$$

$$A_{piso R.C} = 0,7 \text{ m} * 0,7 \text{ m}$$

$$A_{\text{piso R.C.}} = 0,49 \text{ m}^2$$

❖ **Cemento;**

$$\frac{m^3}{7,06 \text{ bolsas de cemento}} = \frac{0,049 m^3}{X}$$

$$X = 0.34594 \approx 0,35 \text{ bolsas de cemento}$$

❖ **Arena;**

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,8 \text{ m}^3 \text{ de arena}} = \frac{0,049 m^3}{X}$$

$$X = 0,4 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

❖ **Grava;**

$$\text{Grava} = 0,05 \text{ m}^3$$

❖ **Número de ladrillos del registro de compensación;**

$$A_{R.Comp.} = (A_{1 \text{ pared}} * \# P) \tag{2.37}$$

$$A_{R.Comp.} = (2,5 \text{ m} * 0,7 \text{ m}) * 3$$

$$A_{R.Comp.} = 5,25 \text{ m}^2$$

$$A_{CIT} = l * a$$

$$A_{CIT} = 0,285 \text{ m} * 0,179 \text{ m}$$

$$A_{CIT} = 0,051015 \approx 0.05 \text{ m}^2/\text{ladrillo}$$

$$\# \text{ ladrillos} = \frac{A_{R.Comp.}}{A_{CIT}} \tag{2.26}$$

$$\# \text{ ladrillos} = \frac{5,25 m^2}{0,05 \text{ m}^2/\text{ladrillo}}$$

$$\# \text{ ladrillos} = 105 \text{ ladrillos}$$

c. **Materiales para levantar los ladrillos del registro de compensación;**

❖ **Cemento;**

$$\frac{1 \text{ bolsa}}{100 \text{ ladrillos}} = \frac{X}{105 \text{ ladrillos}}$$

$$X = 1,05 \text{ bolsas de cemento}$$

❖ **Arena;**

$$\frac{0,11 \text{ m}^3}{100 \text{ ladrillos}} = \frac{X}{105 \text{ ladrillos}}$$

$$X = 0,1155 m^3 \approx 0,12 m^3 \text{ de arena}$$

❖ **Piedra en polvo;**

$$\frac{0,04 \text{ m}^3}{100 \text{ ladrillos}} = \frac{X}{105 \text{ ladrillos}}$$

$$X = 0,042 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

d. Materiales para el repello del registro de compensación;

$$V_{\text{repello R.Comp.}} = A_{\text{R.Comp.}} * h_{\text{repello}} \quad (2.31)$$

$$V_{\text{repello R.Comp.}} = 5,25 \text{ m}^2 * 0,02 \text{ m}$$

$$V_{\text{repello R.Comp.}} = 0,105 \text{ m}^3$$

❖ **Cemento;**

$$\frac{5,6 \text{ bolsas}}{1 \text{ m}^3} = \frac{X}{0,105 \text{ m}^3}$$

$$X = 0,588 \approx 0,6 \text{ bolsas}$$

Considerando un 30% de pérdidas;

$$X = 0,18 \approx 0,2 \text{ bolsas}$$

Por tanto:

$$\text{Cemento} = 0,6 \text{ bolsas} + 0,2 \text{ bolsas} = 0,8 \approx 1 \text{ bolsa}$$

❖ **Arena;**

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,6 \text{ m}^3 \text{ de arena}} = \frac{0,105 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,063 \approx 0,06 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Considerando un 30% de pérdidas;

$$X = 0,018 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Por tanto:

$$\text{Arena} = 0,06 \text{ m}^3 + 0,018 \text{ m}^3 = 0,078 \approx 0,08 \text{ m}^3$$

❖ **Piedra en polvo (PP);**

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,4 \text{ m}^3 \text{ de PP}} = \frac{0,105 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,042 \approx 0,04 \text{ m}^3$$

Considerando un 30% de pérdidas;

$$X = 0,012 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Por tanto:

$$\text{PP} = 0,04 \text{ m}^3 + 0,012 \text{ m}^3 = 0,052 \text{ m}^3$$

e. Materiales para el betún del registro de compensación;

$$V_{\text{betún R.C.}} = A_{\text{R.C.}} * h_{\text{betún}} \quad (2.34)$$

$$V_{\text{betún.R.C}} = 5,25 \text{ m}^2 * 0,01 \text{ m}$$

$$V_{betún R.C} = 0,0525 \text{ m}^3$$

❖ Cemento;

$$\frac{1 \text{ m}^3}{7,32 \text{ bolsas}} = \frac{0,0525 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,3843 \approx 0,4 \text{ bolsas de cemento}$$

Considerando el 30% de pérdidas;

$$X = 0,12 \text{ bolsas de cemento}$$

Por tanto:

$$\text{Cemento} = (0,4 + 0,12) \text{ bolsas} = 0,52 \approx 0,5 \text{ bolsas}$$

❖ Arena;

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,8 \text{ m}^3 \text{ de arena}} = \frac{0,0525 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = ,042 \approx 0,04 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Considerando el 30% de pérdidas;

$$X = 0,012 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Por tanto:

$$\text{Arena} = 0,04 \text{ m}^3 + 0,012 \text{ m}^3 = 0,052 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

❖ Piedra en polvo;

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,2 \text{ m}^3 \text{ de PP}} = \frac{0,0525 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,0105 \approx 0,01 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Considerando el 30 % de pérdidas;

$$\frac{0,01 \text{ m}^3 \text{ de PP}}{100 \%} = \frac{X}{30 \%}$$

$$X = 0,003 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Por tanto:

$$PP = 0,01 \text{ m}^3 \text{ de PP} + 0,003 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

$$PP = 0,013 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Materiales para el registro de carga:

e. Fundición del piso del registro de carga;

$$A_{\text{piso R.C.}} = l * a \tag{2.36}$$

$$A_{\text{piso R.C.}} = 1,2 \text{ m} * 1,1 \text{ m} = 1,32 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{fund.R.C.}} = A_{\text{piso R.C.}} * h_{\text{fundición}} \tag{2.35}$$

$$V_{fund.R.C.} = 1,32 \text{ m}^2 * 0,10 \text{ m}$$

$$V_{fund.R.C.} = 0,132 \text{ m}^3$$

❖ **Cemento;**

$$\frac{\text{m}^3}{7,06 \text{ bolsas}} = \frac{0,132 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,93192 \approx 0,93 \text{ bolsas}$$

❖ **Arena;**

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,8 \text{ m}^3 \text{ de arena}} = \frac{0,132 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0.1056 \approx 0,11 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

❖ **Grava**

$$\text{Grava} = 0,132 \text{ m}^3$$

f. **Número de ladrillos del registro de carga;**

$$A_{R.C.} = (A_{1 \text{ pared}} * \# \text{ de paredes}) \tag{2.37}$$

$$A_{R.C.} = (1.2 \text{ m} * 0,5 \text{ m}) * 4$$

$$A_{R.C.} = 2,4 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{ladrillo en citara}} = \text{largo del lado más estrecho con mayor dimensión} * A_{\text{ancho}}$$

$$A_{\text{ladrillo en citara}} = 0,051015 \approx 0.05 \text{ m}^2/\text{ladrillo}$$

$$\# \text{ ladrillos} = \frac{A_{R.C.}}{A_{\text{ladrillo en citara}}} \tag{2.26}$$

$$\# \text{ ladrillos} = \frac{2,4 \text{ m}^2}{0,05 \text{ m}^2/\text{ladrillo}}$$

$$\# \text{ ladrillos} = 48 \text{ ladrillos}$$

c. **Materiales para levantarlos ladrillos del registro de carga;**

❖ **Cemento;**

$$\frac{1 \text{ bolsa}}{100 \text{ ladrillos}} = \frac{X}{48 \text{ ladrillos}}$$

$$X = 0,48 \text{ bolsas de cemento}$$

❖ **Arena;**

$$\frac{0,11 \text{ m}^3}{100 \text{ ladrillos}} = \frac{X}{48 \text{ ladrillos}}$$

$$X = 0,0528 \text{ m}^3 \approx 0,053 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

❖ **Piedra en polvo;**

$$\frac{0,04 \text{ m}^3}{100 \text{ ladrillos}} = \frac{X}{48 \text{ ladrillos}}$$

$$X = 0,02 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

d. Materiales para el repello del registro de carga;

$$V_{\text{repello R.C.}} = A_{\text{R.C.}} * h_{\text{repello}} \quad (2.31)$$

$$V_{\text{repello R.C.}} = 2,4 \text{ m}^2 * 0,02 \text{ m}$$

$$V_{\text{repello R.C.}} = 0,05 \text{ m}^3$$

❖ **Cemento;**

$$\frac{5,6 \text{ bolsas}}{1 \text{ m}^3} = \frac{X}{0,05 \text{ m}^3}$$

$$X = 0,28 \approx 0,3 \text{ bolsas}$$

Considerando un 30% de pérdidas;

$$X = 0,09 \approx 0,1 \text{ bolsas}$$

Por tanto:

$$\text{Cemento} = 0,3 \text{ bolsas} + 0,1 \text{ bolsas} = 0,4 \text{ bolsa}$$

❖ **Arena;**

$$\frac{0,6 \text{ m}^3 \text{ de arena}}{1 \text{ m}^3} = \frac{0,05 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,03 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Considerando un 30% de pérdidas;

$$X = 0,009 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Por tanto:

$$\text{Arena} = 0,03 \text{ m}^3 + 0,009 \text{ m}^3 = 0,039 \approx 0,04 \text{ m}^3$$

❖ **Piedra en polvo (PP);**

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,4 \text{ m}^3 \text{ de PP}} = \frac{0,05 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,02 \text{ m}^3$$

Considerando un 30% de pérdidas;

$$X = 0,006 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Por tanto:

$$\text{PP} = 0,02 \text{ m}^3 + 0,006 \text{ m}^3 = 0,026 \text{ m}^3$$

e. Materiales para el betún del registro de carga;

$$V_{\text{betún R.C.}} = A_{\text{R.C.}} * h_{\text{betún}} \quad (2.34)$$

$$V_{\text{betún R.C.}} = 2,4 \text{ m}^2 * 0,01 \text{ m}$$

$$V_{betún R.C.} = 0,024 \text{ m}^3$$

❖ **Cemento;**

$$\frac{1 \text{ m}^3}{7,32 \text{ bolsas de cemento}} = \frac{0,024 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,17568 \approx 0,2 \text{ bolsas de cemento}$$

Considerando o 30% de pérdidas;

$$X = 0,06 \text{ bolsas de cemento}$$

Por tanto:

$$\text{Cemento} = (0,2 + 0,06) \text{ bolsas de cemento} = 0,26 \approx 0,3 \text{ bolsas de cemento}$$

❖ **Arena;**

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,8 \text{ m}^3 \text{ de arena}} = \frac{0,024 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,0192 \approx 0,02 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Considerando un 30% de pérdidas;

$$X = 0,006 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

Por tanto:

$$\text{Arena} = (0,02 + 0,006) \text{ m}^3 \text{ de arena} = 0,026 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

$$\text{Arena} = 0,03 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

❖ **Piedra en polvo;**

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,2 \text{ m}^3 \text{ de PP}} = \frac{0,024 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,0048 \approx 0,005 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Considerando un 30 % de perdidas;

$$\frac{0,005 \text{ m}^3 \text{ de PP}}{100 \%} = \frac{X}{30 \%}$$

$$X = 0,002 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Por tanto:

$$\text{PP} = 0,005 \text{ m}^3 \text{ de PP} + 0,002 \text{ m}^3 \text{ de PP} = 0,01 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

Materiales para el registro de evacuación de lodos sedimentación.

a. Fundición del piso de registro de evacuación de lodos sedimentados;

$$A_{\text{piso R.L.S.}} = l (\text{largo}) * a (\text{ancho}) \quad (2.36)$$

$$A_{\text{piso R.L.S.}} = 2,34 \text{ m} * 1,20 \text{ m} = 2,8 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{fund.R.L.S.}} = A_{\text{piso R.C.}} * h_{\text{fundición}} \quad (2.35)$$

$$V_{fund.R.L.S.} = 2,8 \text{ m}^2 * 0,10 \text{ m} = 0,28\text{m}^3$$

❖ **Cemento;**

$$\frac{1\text{m}^3}{7,06 \text{ bolsas de cemento}} = \frac{0,28 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 1,9768 \approx 2 \text{ bolsas de cemento}$$

❖ **Arena;**

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,8 \text{ m}^3 \text{ se arena}} = \frac{0,28 \text{ m}^3}{X}$$

$$X = 0,224\text{m}^3 \text{ de arena}$$

❖ **Grava:**

$$Grava = 0,28 \text{ m}^3$$

b. Números de ladrillos del registro de evacuación de lodos sedimentado;

$$\Sigma = A_{paredes 1} + A_{paredes 2} + A_{paredes 3} + A_{paredes 4} \quad (2.37)$$

$$A_{repelloR.L.S} = 3 \text{ m}^2 + 2\text{m}^2 + 3\text{m}^2 + 2 \text{ m}^2$$

$$A_{repelloR.L.S} = 10 \text{ m}^2$$

$$A_{ladrillo en citara} = 0.05 \text{ m}^2/\text{ladrillo}$$

$$\#ladrillos = \frac{A_{RC}}{A_{ladrillos en cirtara}} \quad (2.26)$$

$$\# tijolos = 200 \text{ tijolos}$$

c. Materiales para levantar los ladrillos en el registro de evacuación de lodos sedimentados;

❖ **Cemento;**

$$\frac{1 \text{ bolsa}}{100\text{ladrillos}} = \frac{X}{200 \text{ ladrillos}}$$

$$X = 2 \text{ bolsas de cemento}$$

❖ **Arena;**

$$\frac{0,11 \text{ m}^3}{100 \text{ ladrillos}} = \frac{X}{200 \text{ ladrillos}}$$

$$X = 0,22 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

❖ **Piedra en polvo;**

$$\frac{0,04 \text{ m}^3}{100 \text{ ladrillos}} = \frac{X}{200\text{ladrillos}}$$

$$X = 0,08 \text{ m}^3 \text{ de PP}$$

d. Materiales para el repello do registro de evacuación de lodos sedimentados;

$$V_{repello R.L.C} = A_{R.L.C} * h_{repello} \quad (2.31)$$

$$V_{repello R.L.C} = 10 m^2 * 0,02 m$$

$$V_{repello R.L.C} = 0,2 m^3$$

❖ Cemento;

$$\frac{5,6 \text{ bolsas}}{1 m^3} = \frac{X}{0,2 m^3}$$

$$X = 1,12 \text{ bolsas}$$

Considerando un 30% de pérdidas;

$$X = 0,336 \approx 0,34 \text{ bolsas}$$

Por tanto:

$$\text{Cemento} = 1,12 \text{ bolsas} + 0,34 \text{ bolsas} = 1,46 \text{ bolsa}$$

$$\text{Cemento} = 1,5 \text{ bolsa}$$

❖ Arena;

$$\frac{1 m^3}{0,6 m^3 \text{ de arena}} = \frac{0,2 m^3}{X}$$

$$X = 0,12 m^3 \text{ de arena}$$

Considerando un 30% de pérdidas;

$$X = 0,036 m^3 \text{ de arena}$$

Por tanto:

$$\text{Arena} = 0,12 m^3 + 0,036 m^3 = 0,156 \approx 0,2 m^3$$

❖ Piedra en polvo (PP);

$$\frac{1 m^3}{0,4 m^3 \text{ de PP}} = \frac{0,2 m^3}{X}$$

$$X = 0,08 m^3$$

Considerando un 30% de pérdidas;

$$X = 0,024 m^3 \text{ de PP}$$

Por tanto:

$$PP = 0,08 m^3 + 0,024 m^3 = 0,104 m^3 = 0,1 m^3$$

e. Materiales para el betún del registro de evacuación de lodos sedimentados;

$$V_{betún R.L.S} = A_{R.L.S} * h_{betún} \quad (2.34)$$

$$V_{betún\ R.L.S} = 10\ m^2 * 0,01\ m$$

$$V_{betún\ R.L.S} = 0,1\ m^3$$

❖ **Cemento;**

$$\frac{1\ m^3}{7,32\ bolsas\ de\ cemento} = \frac{0,1\ m^3}{X}$$

$$X = 0,732 \approx 0,7\ bolsas\ de\ cemento$$

Considerando un 30% de pérdidas;

$$X = 0,21\ bolsas\ de\ cemento$$

Portanto:

$$Cemento = (0,7 + 0,21)\ bolsas\ de\ cemento = 0,91 \approx 1\ bolsa\ de\ cemento$$

❖ **Arena;**

$$\frac{1\ m^3}{0,8\ m^3\ de\ arena} = \frac{0,1\ m^3}{X}$$

$$X = 0,08 \approx 0,1\ m^3\ de\ arena$$

Considerando un 30% de pérdidas;

$$X = 0,03\ m^3\ de\ arena$$

Portanto:

$$Arena = (0,1\ m^3 + 0,03)\ m^3\ de\ arena = 0,13\ m^3\ de\ arena$$

❖ **Piedra en polvo;**

$$\frac{1\ m^3}{0,2\ m^3\ de\ PP} = \frac{0,1\ m^3}{X}$$

$$X = 0,02\ m^3\ de\ PP$$

Considerando o 30 % de perdidas;

$$X = 0,006\ m^3\ de\ PP$$

Por tanto:

$$PP = 0,02\ m^3 + 0,006\ m^3 = 0,023\ m^3\ de\ PP$$

$$PP = 0,03\ m^3\ de\ PP$$

3. Se cuantifica la cantidad de materiales necesarios para la construcción del biodigestor,

- Ladrillos = 1586 u
- Cemento = 46 bolsas
- Arena = 5,5 m³

- Piedra en polvo= 1,5 m³
- Grava = 2 m³
- Cal = 1 bolsa

3.7 Determinación del valor de la producción del biodigestor.

Precio unitario de una botella de biogás.

Teniendo en cuenta que una botella de gas natural contiene 22 lb, equivalente a 8,25 m³ y cuestan 120 cup, se determinó que una producción de biogás de 11,413m³/día y anual de 4165,745 m³, equivalen a 505 botellas. Si se considerara que para una familia de 5 personas, una botella de 20 libras, dura aproximadamente 23 días (según datos de los encuestados), entonces al año esta familia consumía 16 botellas, por lo que esta producción de biogás puede abastecer a 31 familias de 5 personas como promedio durante el año.

Volumen de la producción: 505 botellas / año

Precio unitario del producto: 120cup / botella

Valor de la producción del gas: 60600 cup / año

Precio unitario de una tonelada de lodos sedimentables

Asumiendo un porcentaje de sólidos totales del 25% y teniendo en cuenta la masa total de excreta, se obtuvo una masa de lodos sedimentables al día de 127,125 kg, lo que equivale a 46,4 ton./año. Por lo tanto:

Volumen de la producción: 46,4 ton./año

Precio unitario del producto: 120 cup / ton. (Valor medio de la tonelada de biofertilizante).

Valor de la producción del Lodo: 5568 cup / año

Añadiendo el valor de la producción anual de biogás más la de biofertilizantes se obtiene por año:

60600 cup / año + 5568 cup / año = 66168cup / año

Si se compara el costo de construcción del biodigestor con el valor de la producción;

Según el Mercado libre el costo., (2018) del aerogenerador es de aproximadamente 2200cup porque se considera un rotor artesana.

- Costo de construcción del biodigestor;

$$\begin{aligned} \text{Costo total} &= \text{Costo de los materiales} + \text{Coste de la excavación} \\ &+ \text{Coste de la mano de obra} + \text{Costo del aerogenerador} \end{aligned}$$

$$\text{Costo total} = 23828,7\text{cup} + 6000\text{cup} + 12000\text{cup} + 2200\text{cup}$$

$$\text{Costo total} = 44028,7\text{cup}$$

• Dividiendo el costo total entre el valor de la producción total por año obtenemos;

$$\frac{44028,7\text{cup}}{66168\text{cup} / \text{año}} = 0,67\text{años}$$

Significa que en aproximadamente 7 meses se amortigua la inversión y a partir de ese momento comienza a dar beneficios. Si tenemos en cuenta que el plazo de vida útil de este tipo de biodigestores, con un régimen adecuado de mantenimiento, alcanza los 20 años obtenemos una idea de la rentabilidad de ésta la inversión.

Según los resultados de cálculo de los costos de construcción y los valores de producción se puede apreciar que la propuesta de diseño del biodigestor es rentable debido a:

- El valor de la producción es mucho mayor que el costo de producción, por lo que se puede afirmar que es factible económicamente.
- El retorno de inversión indica que esta se recupera al cabo de 0,7 años a través de la ganancia por concepto de valor de la producción.
- El plazo en que se recupera la inversión a través de la ganancia es de 0,7 años, lo que significa que durante 19,3 años de explotación del biodigestor se obtendrá ganancia.
- El alto valor de cada inversión se justifica por el beneficio social e económico, que contribuye el uso de biogás y el abono en los beneficiarios.

3.8 Cálculos para el rendimiento y diseño de un rotor Savonius.

El rendimiento del rotor viene dado por la gráfica del Anexo 14: Figura 8, para un valor dado del TSR; si el TSR es igual a 0,8 (que se corresponde con la potencia máxima), el valor del rendimiento es del orden de 0,15. Si se supone que las dimensiones del rotor son: altura, $h = 1,5 \text{ m}$; diámetro, $d = 0,5 \text{ m}$, y se desprecia la separación entre semicilindros, el área frontal A y la potencia útil generada son:

$$A = h * 2 * d = 1,5\text{m}^2 \tag{2.43}$$

$$N_{\text{útil}} (kW) = \frac{10^{-3}}{2} * 1,25 \frac{kg}{m^3} * V^3 * \left(\frac{m}{seg}\right)^3 * 1,5m^2 * 0,15 \quad (2.40)$$

$$N_{\text{útil}} (kW) = 0,141v^3$$

Para un TSR = 0,8 se obtiene $C_y = 1,4$ y $C_x = 1,2$ por lo que suponiendo una velocidad del viento de 10 m/seg se tiene:

$$F_{asc} = 1,08 * 1,4 * 1,25 * 3.102 = 567 \text{ kg} \quad (2.44)$$

$$F_{arr} = 1,08 * 1,2 * 1,25 * 3.102 = 486 \text{ kg} \quad (2.45)$$

$$F_{total} = \sqrt{F_{asc}^2 + F_{arr}^2} = \sqrt{567^2 + 486^2} = 746,8 \text{ kg}$$

Que es la carga total que tiene que absorber el soporte de la estructura.

Para diseñar un rotor Savonius hay que conocer de antemano las opciones que pueden existir, que incluyen espaciados entre palas, número de palas, esbeltez y posicionamiento de las mismas y discos laterales que conforman las bases de apoyo, como se indica en el Anexo 15: Figura 9, presentando diversas opciones; donde se selecciona la *figura g* porque es un rotor eólico de eje vertical y se necesita mover un agitador vertical, además mejora el rendimiento del rotor a bajas rpm, así como la energía liberada para un determinado campo de velocidades del viento. Se hace una instalación de un rotor con una unión de Cardan para evitar cualquier distorsión en la posición del rotor no implique una fractura en la entrada del digestor. Se instala un freno de mano para evitar que vientos de alta velocidad generen turbulencias en el digestor y deformación en paletas y que parte de la biomasa no digerida pueda salir. No es preciso que funcione las 24 horas del día, durante el proceso de carga no debe funcionar para evitar que parte de la biomasa no digerida escape por el sistema de compensación.

Por lo que respecta a la regulación sabemos que para un rotor de palas se utilizan formas de orientación y gobierno que actúan en el sentido de preservar a la máquina de la acción del viento para no encontrarse bajo estas fuerzas acelerativas. Cuando el rotor Savonius se embala es muy difícil de gobernar; si para disminuir la velocidad de rotación se le aplica un freno, el par ejercido sobre el rotor aumenta y puede llegar a averiarle, por lo que este sistema de frenado no es el adecuado.

Si las palas (canaletas) se mueven de forma que el rotor Savonius se convierta en un cilindro, la superficie resultante, cilíndrica, no estaría en condiciones de realizar un trabajo y, por lo tanto, ésta es la forma más usual de regulación en este tipo de rotores; en esta situación, por lo tanto, dejaría de comportarse como tal máquina eólica.

CONCLUSIONES PARCIALES DEL CAPÍTULO 3

1. El volumen del biodigestor propuesto es de 26,8 m³.
2. El rotor eólico propuesto para el agitador mecánico debe ser un rotor Savonius por ser de eje vertical y tener un buen aprovechamiento del viento a bajas velocidades.
3. Se utilizan las virutas de hierro para eliminar el sulfuro de hidrógeno presente en el interior del biogás.
4. El costo total de construcción del biodigestor es de 44028,7cup
5. El valor total de la producción anual del biodigestor es de 66168cup / año.
6. Es aceptada la inversión para la construcción del biodigestor, puesto que la misma se recupera en 0,7 años aproximadamente.

CONCLUSIONES

1. El uso de la energía renovable va tornándose a nivel mundial una opción materialmente factible para la sustitución de los combustibles tradicionales que constituyen fuentes no renovables de energía y contribuyen al incremento de la contaminación ambiental.
2. El sistema propuesto constituye una modificación del biodigestor de cúpula fija tradicional, con un volumen constante de $26,8 \text{ m}^3$, donde el tanque de compensación se sitúa sobre la cúpula y se le adiciona el sistema de agitación con el uso de un rotor eólico modelo Savonius.
3. El sistema de agitación presentado, reduce el tiempo de retención de la biomasa en el biodigestor, ya que al aumentar la velocidad de reacción produce la transformación de la biomasa más rápidamente.
4. El costo total de construcción del biodigestor es de 44028,7cup, el valor total de la producción anual del biodigestor es de 66168 cup., lo que demuestra la factibilidad económica de la construcción del sistema propuesto.

RECOMENDACIONES

1. Recomendamos el diseño y construcción de un biodigestor de cúpula fija para el tratamiento de residuos sólidos de origen orgánico y la producción de energía renovable, con el empleo de un rotor eólico tipo Savonius como sistema de agitación el cual aumenta la eficiencia del proceso de digestión anaerobia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

1. Acevedo, P. ;(2006). *Biodigestor de doble propósito-producción e investigación para residuos de granja porcícola*. Revista ION, 19(1), 1-6, Diciembre
2. ACPA. Asociación cubana de producción animal. (2012). *Biogás y Bioabonos. Un sistema tecnológico "limpio"*. 63 p.
3. Almeida, Y. (2012). *Obtenção de biogás a partir de resíduos*. Matanças. 68h. Trabalho de diploma, Universidade de Matanças.
4. Angelidaki, I. Anaerobic Digestion in Denmark past, present and future. *Aprovechamiento Energético de Residuos Orgánicos*, Nov. Berlin (Alemania), pp 214-215. (1997). Archer.,(1983)
5. Arrastía, M. (2009). *Hacia un nuevo paradigma energético*. [consultado 25 de noviembre del 2011][on line]. Disponible en: <http://www.juventudrebelde.cu/cuba/2009-01-13/hacia-un>
6. Barlatey, A. (2012). *Biodigestor demostrativo para a obtenção de biogás a partir de subprodutos da produção do BIODIESEL-ADCADIS*. Presentado no INTI. Uruguai. Maio, 2016 *nuevo-paradigma energético/v*.
7. Barrera Cardoso (2007). "Propuestas tecnológicas para producir biogás con fines energéticos". Un estudio de caso en la granja Blanco, D.; Martín, G.; Cepero, L.; Piñón, M.; Suárez, J. (2012). *Manual de desenho, montagem e operação de digestores plásticos de sob custo. Uma alternativa para Cuba. Estação experimental de Pastos e Forragens "Índio Hatuey"*. 28 p. ISBN 978-959-7138-13-6.
8. Borja, R. (2011). *Biogas production. Comprehensive Biotechnology (Second Edition). vol. 2, p. 785-798*
9. British Petroleum. *Statistical Review of World Energy*, 2006
10. Campos, C. (2011). *Metodologia para determinar os parâmetros de desenho e construção do Biodigestores para o setor cooperativo e camponês. Ciências Técnicas Agropecuárias, vol. 20,no. 2, p. 37-41*

11. Cepero, L.; Savran, V.; Blanco, D.; Piñón, M.; Suárez, J.; Palacios, A. (2012). Produção de biogás e bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. *Pastos e forragens*, vol. 35, no. 2, p. 219-221
12. Chao, E, R. (2010). Fermentação anaeróbia para o tratamento ETHANOL, (2009)
13. Cofre, C. Guía Para la Construcción y Operación de una Planta de Biogás, alimentada con lodos Residuales de la Industria Carnea, Tesis para Optar al Título de Constructor Civil ,Universidad Austral de Chile, Valdivia (Chile), pp 86-99(2001).
14. Conteras,L. (2006). Produção de biogás con fines energéticos. De histórico a estratégico. *Revista futuros*. Vol. 6.p 20-31
15. Contreras Velásquez (2006). “Producción de biogás con fines energéticos de lo histórico a lo Estratégico” Publicado en Revista Futuros No. 16, Vol. IV Consultado abril 2009 en <http://www.revistafuturos.info>
16. EMC, (2009). Enciclopedia: “El Mundo de la ciencia” (Editorial Salvat). Tomo 9. Consultado en mayo de 2009 en <http://html.rincondelvago.com/energiahidraulica.html>
17. Ethanol, K. (2009). *Evaluation of Analytical Methods for Analysis of Dried Distillers Grains whit Soluble*. KANSAS. United States, University of Minnesota Distiller Grain Site.
18. Fernández, J. (2012). Producción de Biogás en Cuba (en línea). [citado el 22-01- 14]. Disponible en: <http://www.ecured.cu/index.php/Biog%C3%A1searchInput#searchInput>
19. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez. (2011). Diseño de Elementos de Máquinas. Cuautitlán Izcalli, México: FES Cuautitlán.
20. Flotats, X., Bonmati, A., Campos, E., Teira, R. El proceso de secado de purines en el marco de Gestión Integral de Residuos Ganadero, Tratamiento de residuos ganaderos, Enero, Madrid (España), pp12-15 (2000).
21. FROSTELL, B. (1988): Process control in anaerobic treatment. *Water Science Technology*. Vol. 17. Tampere. p. 173 – 189.

22. González, P; Vieto, E.; Ramírez, J. y Cruz, M. (2002). Influência da fertilização orgânica na produção de forragem e semente da *Canavalia ensiformis*. *Ecosistema boiadeiro*. no 1.vol. 1. p. 33
23. Greenpeace (2009). Organización ambientalista conocida por sus actividades. Incluye información sobre proyectos, problemáticas actuales y medio ambiente. "Energías renovables". Consultado abril 2009 <http://www.greenpeace.org/mexico/campaigns/energ-a-y-cambioclimatico/energ-as-renovables>
24. Guardado, J. (2007). Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas. *Editorial CUBASOLAR*. ISBN- 959-7113-33-3, 66p.
25. Henze, M. y Herremoes, P. (1986). Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors. A Literature Review. *Water Science Technology*. Vol. 15. Copenhagen.
26. Hernández, C. (2005). Segundo FORUM Nacional de Energía: Biogás. La Habana.
27. Hilbert, J. 2009. Biogás en Ecuador. [En línea] julio de 2009. <http://www.agroecologia.ec/energias-alternativas/7-biodigestores>.
28. IANNOTI, E. L. *et al.* (1984): effects of ammonia, volatile acids, pH, and sodium on Growth bacteria isolated form swine manure digester. *Developments in Industrial Microbiology*, vol. 25. p. 514 – 517.
29. Jeason, D. Carrera, J. Avances en Biotecnología Ambiental, tratamiento de residuos líquidos y sólidos, vol 1, pp 35-52, Ed Acribia, Madrid, España (2000).
30. LIN, C. Y. *et al.* (1985): Temperature Characteristics of the methanogenesis process in anaerobic digestion. *Water Science Technology*. Vol. 19. p. 299 - 310.
31. LÓPEZ, C. *et al.* (2002): Introducción al conocimiento del Medio Ambiente. Universidad para todos. p. 3 – 31, citado por Pedro en el 2018
32. Lugones, B. (2003). Análisis de biodigestores. *Energía y Tú*, No. 22. p. 12 - 15. Mc Carty., (1964)

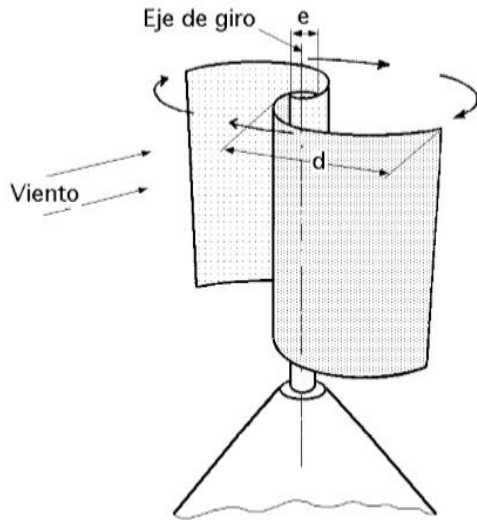
33. McCabe, W; Smith, J. (1990). Operaciones Unitarias de Ingeniería Química, tomo 1. Ed Revolucionaria. 459 p.
34. MINENERGIA. (2011). Manual de biogás. *Ed. Proyecto CHI/00/G32* "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables". 112 p. ISBN 978-95-306892-0
35. Montes, E. (2008). *Estudio técnico- económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradoras para la obtención de biogás*. Valparaíso. 210p. Tesis en opción al título de Doctor. Universidad técnica Federico Santa María, Chile
36. Norma cubana: 175: 2002. Morteros de albañilería. Especificaciones. Oficina nacional de normalización. 12.p
37. Pérez Escoso ,A (2009). El SEN cubano, sus antecedentes, desarrollo y situación en los últimos años .Medidas para reducir las afectaciones eléctricas. Revisado el 27 de octubre del 2009 en <http://www.cubaenergía.cu>
38. Pérez, L, Bermúdez, C, Lezcano, P y Rabelo, D. (2000). Tecnologías de digestión anaerobia para el tratamiento de residuales. *Ciencias Agrícolas*, tomo 34, No. 2. p. 93 - 102.
39. PÉREZ, J. L., LEZCANO, P. & BERMÚDEZ, R. C. (2000): Potencialidad Nutricional de Lodos provenientes de Digestores de Biogás. *Revista Cubana Química*, 12:3.
40. PÉREZ, J. L., BERMÚDEZ, R. C., LEZCANO, P. Y RABELO, D. (2000): Tecnologías de digestión anaerobia para el tratamiento de residuales. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*. Tomo 34, No. 2. p. 93 – 102.
41. Ramón, J.A.; ROMERO, L.F.; SIMANCA, J.L.; (2006). Diseño de un biodigestor de canecas en serie para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de cerdos. *Revista Ambiental: Aire, Agua y Suelo*. Vol. 1, 15-23
42. Remberto Abad Alemán. Tesis presentada en opción al grado científico de Master en Ciencias. Universidad de Cienfuegos. 10

43. Rojas, P, A; Sanabria, M; Mora, M. (2008). Digestión anaerobia, la tecnología del biogás. CD de Monografías. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos".
44. Romero Romero (2005) "Metodología para incrementar el aporte de electricidad con bagazo y alternativa de combustible para generar fuera de zafra". Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias. UCLV.
45. Sánchez, J.; Pavon, A (2009). El biogás. Resultados y potencialidades como fuente de energía y bioabono em el sector cooperativo de provincia de Matanzas CD de Monografias Universidade de Matanças "Camilo Cienfuegos"
46. Sánchez, J; Savran, V; Frunze, S; Lantigua, A; García, J. (2011). Introdução à produção de biogás (3era edição). Folleto teórico publicado por la universidade Politécnica de Madrid y el centro de reflexion y diálogo. 47p. ISSN1608-1854
47. Sánchez, J.; González, A. (2011). Recuperación de los suelos y disminución de la contaminación ambiental através de los biodigestores en sector campesino e cooperativo da provincia de Matanças. *Exposición publicada en formato digital en memorias de 1er Oficina internacional del movimiento agroecológico y agricultura sostenible sep 2011*
48. Sánchez J. (2012). Optimización de La agitación de un digestor anaeróbico mediante mecánica de fluidos computacional p 19-23
49. SAHM, H. (1998): Anaerobic wastewater treatment. Seminario de Tratamiento Anaeróbico de Aguas Residuales. La Habana.
50. Soria, M. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión anaerobia de excretas. Instituto Tecnológico Agropecuario, México (2000).
51. Veeken, A., Sanders, W. Analysis and optimization of the Anaerobic Digestion Of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste. USA (2002).
52. Schwartz., 2011, PARÁMETROS PRÁCTICOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO DE LOS AEROGENERADORES EÓLICOS.

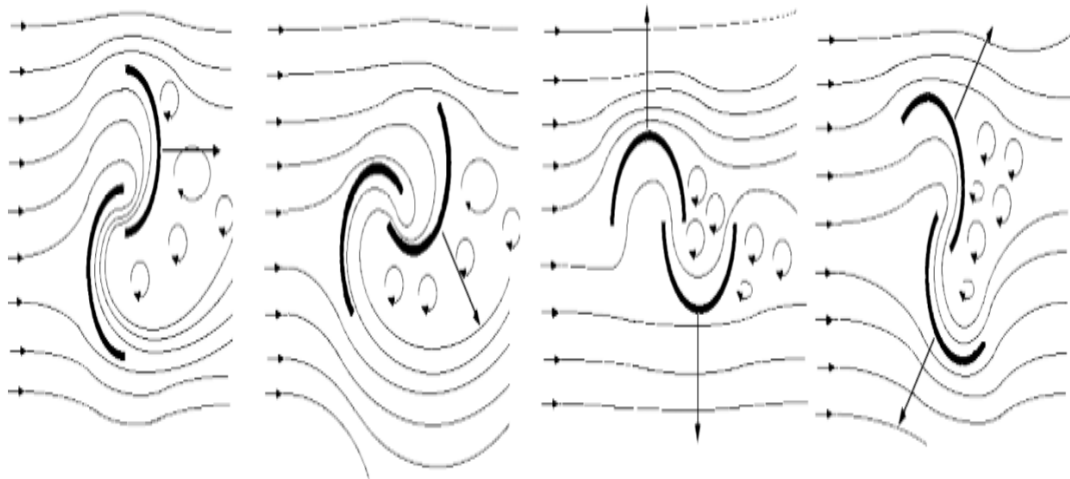
53. Veeken, A., Hamelers, B. Effect of substrate – seed mixing and leachate recirculation on solid state digestion of biowaste. *Review Technology*, vol 5 pp23-47 (2000).
54. Yaldiz, O; Sozer, S; Caglayan, N; Ertekin, C; Kay, D. (2012). Methane production from Plant wastes and chicken manure at different working conditions of a OneStage anaerobic digester. *Energy Sources, Part: A, Recovery, utilization and environmental effects. Vol. 33. p 1802-1813.*
55. Zeeman, G; Gerbens, S. (2012). CH₄ Emissions from animal manure. *Good.*

Anexos

Anexo1: Figura 1; Rotor Savonius



Anexo 2: Figura 2; Líneas de corriente en un rotor Savonius.



Anexo 3: Tabla 1.1; Duración mínima de 1m³ de biogás para diferentes artefactos.

Alimentación	Consumo (Kcal/h)	1 m ³ biogás (duración mínima)
Cocina de 1 hornilla	660 - 742.5	7.4 h
Heladera de 13 pies ³	550 - 600	8.3 h
Lámpara	478 - 528	10.4 h
Termo tanque	110L 1375 - 1650	3.3 h
Estufa de 600 cal	3355 - 4400	1.25 h
Motor (hp/h)	2750 - 4400	1.25 h
Generación de Electricidad	6.4 Kw/h	2h

Fuente: Cofré., 2001

Anexo 4: Figura 3; Biodigestor de campana flotante. (Sánchez y González, 2011)



Anexo 5: Figura 4; Biodigestor de cúpula fija. (Sánchez e González, 2011)



Anexo 6: Figura 5; Biodigestor de cúpula fija con laguna de compensación sobre o biodigestor. (Sánchez *et al.*, 2011)



Anexo 7: Figura 6; Biodigestor tubular de polietileno. Sánchez *et al.*, 2011



Anexo 8: Figura 7; Biodigestor de cobertura flexible. Sánchez *et al.*, 2011



Anexo 9 : Tabla 1.2; Biodigestores de segunda generación.

Con crecimiento en soporte.	Con crecimiento disperso.
Híbrido	Lodo ativado anaerobio
Lecho fijo	UASB (digestor anaeróbico con manto de lodo y flujo ascendente)
Lecho fluidizado o expandido	Circulación interna
Filtro anaerobio con carbón activado	Modificado de alta velocidad
Contacto rotatorio anaerobio	Membrana
Asociado a partículas suspensas	Dos etapas
Inmovilización de microorganismos	Tubular inclinado

Fuente: Sánchez *et al.*, 2011

Anexo 10: Tabla 2.1: Cantidad de estiércol y producción de biogás durante un día por diferentes sustratos.

Fuente.	Excreta úmida diaria (kg) por animal.	m³ de biogás por día.	Proporcion excreta/H₂O	Tempos de retención días)
Vaca.	10	0,36	1:1	40
Toro.	15	0,54	1:1	40
Puerco (50kg)	2,25	0,101	1:1-3	40
Frango.	0,18	0,008	1:3-8	30
Caballo.	10	0,3	1:1-3	40
Cabruto.	2	0,1	1:1-3	40
Becerro.	5	0,2	1:1	40
Humano	0,4	0,025	1:1	60

Fuente: Sánchez *et al.*, 2011

Anexo 11: Tabla 2.2; Materiales necesarios para la construcción del biodigestor de 26,8 m³. PRECOM

Materiales.	Ctda	Costo (cup)	costo unitario
Cemento.	46	112	5152
Arena.	5.5	160	880
Cal.	1	20	20
Piedra en polvo.	1.5	155	232.5
grava	2	200	400
ladrillos de 28,5 x 17,9 x 10,8 cm.	1586	8	12688
Acero de 16 mm de Ø.	90	0.88	79.2
Alambre de 0,3 mm de Ø.	1	25	25
Tubos de PVC de 100 mm de Ø.	8	110	880
Tubos de PVC de 40 mm de Ø.	50	50	2500
Tubo de hierro de 40 mm de Ø.	6	55	330
Listón de madera.	3	20	60
Válvula de globo de 40mm.	3	120	360
Tee de 40 mm.	6	12	72
Unión recta de 40 mm.	6	50	30
Pegamento de PVC.	1	120	120
Total			23828.7

Anexo 12: Tabla 2.3; Clasificación de la entrevista

Crterios	Clasificación
Por la estructura.	<input type="checkbox"/> Entrevista centrada o directa <input type="checkbox"/> Entrevista no directa
Por el número de entrevistados.	<input type="checkbox"/> Entrevista individual <input type="checkbox"/> Entrevista grupal
Por el objetivo.	<input type="checkbox"/> Entrevista informativa <input type="checkbox"/> Entrevista orientada
Por la función.	<input type="checkbox"/> Entrevista exploratoria <input type="checkbox"/> Entrevista informal o introductoria

Fuente: Elaboración propia

Anexo 13; (NC 175-202)

Dosificación de los materiales de construcción para un biodigestor de cúpula fija. (NC 175-202)

Elementos estructurales.

1m³ de hormigón de alta densidad.

- 349 kg de cemento
 - 70% de arena
 - 100% de piedra
- | | |
|--|--------------------------------|
| | 8,2 Sacos de cemento de 42,5kg |
| | 0,7m ³ de arena. |
| | 1m ³ de piedra. |
- (proporción - 1 cemento: 2 de arena: 3 de piedra)**

Para fundir dados.

- 30% do volumen de grava
- 70% hormigón

* Hormigón de baja resistencia.

- 300 kg de cemento
 - 80% de arena
 - 100% de piedra
- | | |
|--|----------------------------|
| | 7,06 sacos de cemento |
| | 0,8m ³ de arena |
| | 1m ³ de piedra |
- (proporción – 1 cemento: 2 de arena: 2,5 de piedra)**

Repello.

- Resano

Para 1m³; 237 kg de cemento; 60% de arena; 40% de piedra en polvo (+ 30% de perdidas).

	0,4m ³ de piedra en polvo
	5,6 sacos de cemento
	0,6m ³ de areia

- Salpicadura.

- Para 1m³; 466 kg de cemento; 1398 kg de árido (relación 1:3)

Betún.

Para 1m³; (+ 40% de piedras).

311 kg de cemento; 80% de arena;	7,32 sacos de cemento
20% de piedra en polvo	0,2m ³ de piedra en polvo.
	0,8m ³ de arena

(relación – 1 de cemento: 1 de piedra en polvo: 4 de arena)

(relación cemento: árido=1:5)

- ½ pulgada: para 1 metro lineal 1kg.
- ⅜ pulgada: para 1 metro lineal 0,56kg.
- ¾ pulgada: para 1 metro lineal 0,26kg.
- 5/8 pulgada: para 1 metro lineal 1,53kg.
- Para fijar bloques. La misma dosis del resano. Con 1 saco de cemento se fijan 80 bloques o 100 ladrillos.

Tabla 2.5: Proporción para preparar las mezclas en la construcción.

	Arena (baldes)	Grava (baldes)	Cemento (baldes)
Levantar	6	-	$\frac{3}{4}$
Repellar	6	-	$\frac{3}{4}$
Fundir	3	1	1

Fuente: NC: 175-2002

Anexo 14: Figura 8; Rendimiento del rotor Savonius

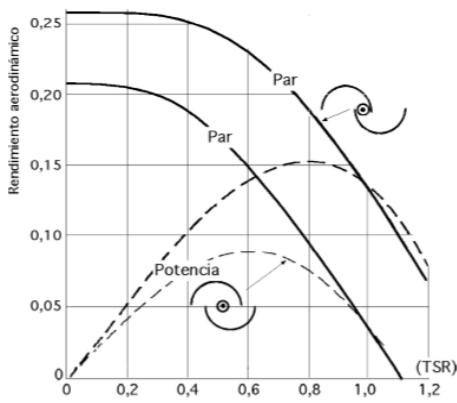


Fig IV.17- Rendimiento del rotor Savonius

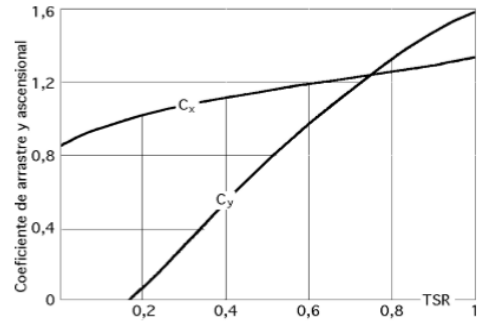
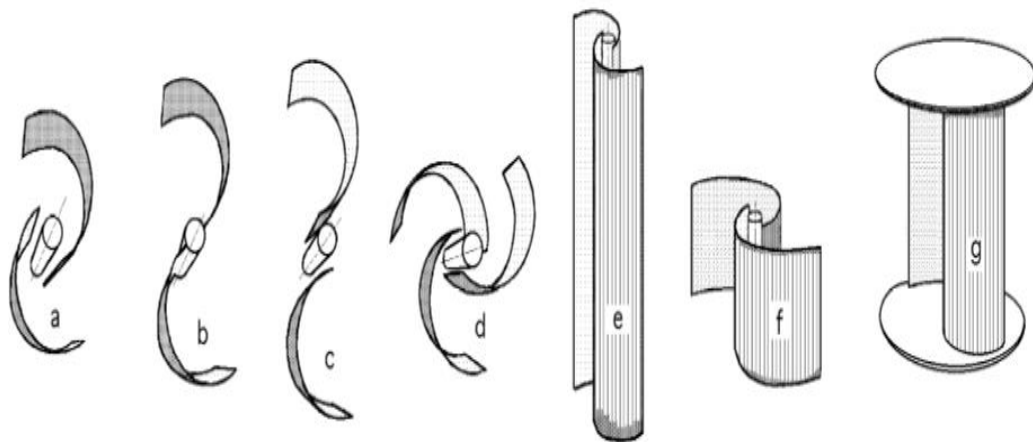
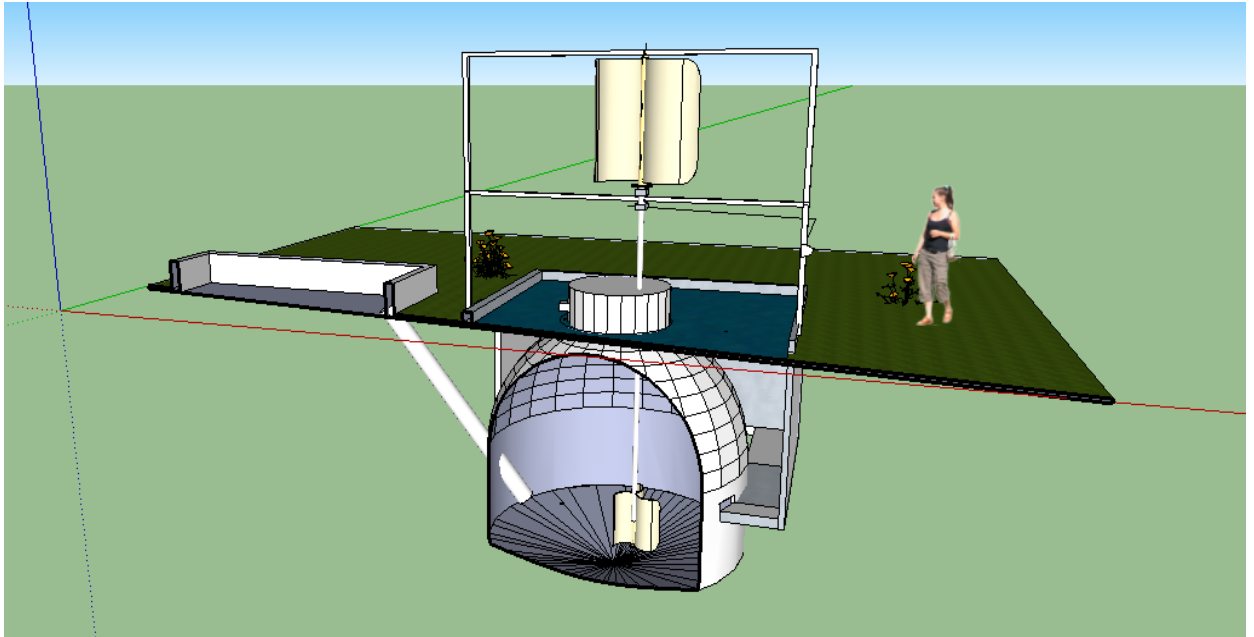


Fig IV.18.- Coeficientes del rotor Savonius

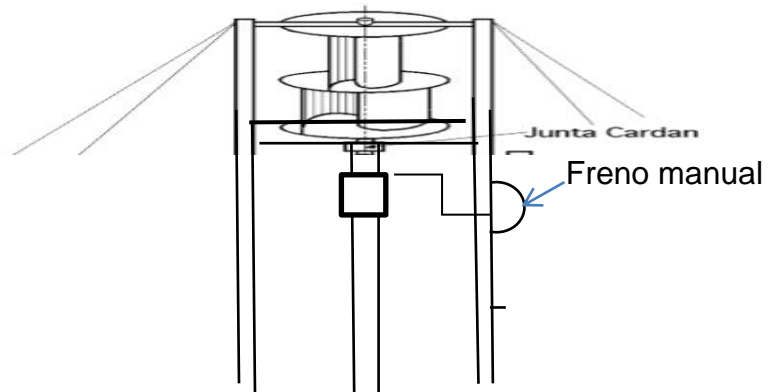
Anexo 15: Figura9; Diversas opciones de diseño de un rotor Savonius



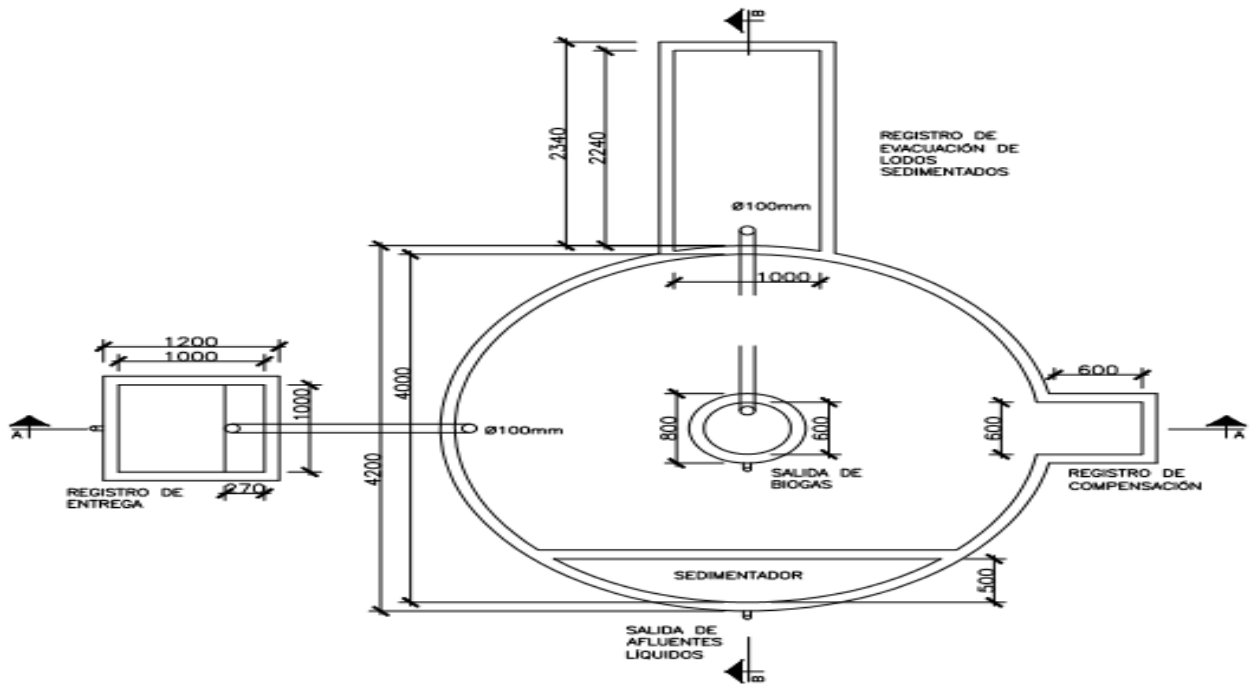
Anexo 16: Figura10; Biodigestor de cúpula fija con el sistema de agitación eólica



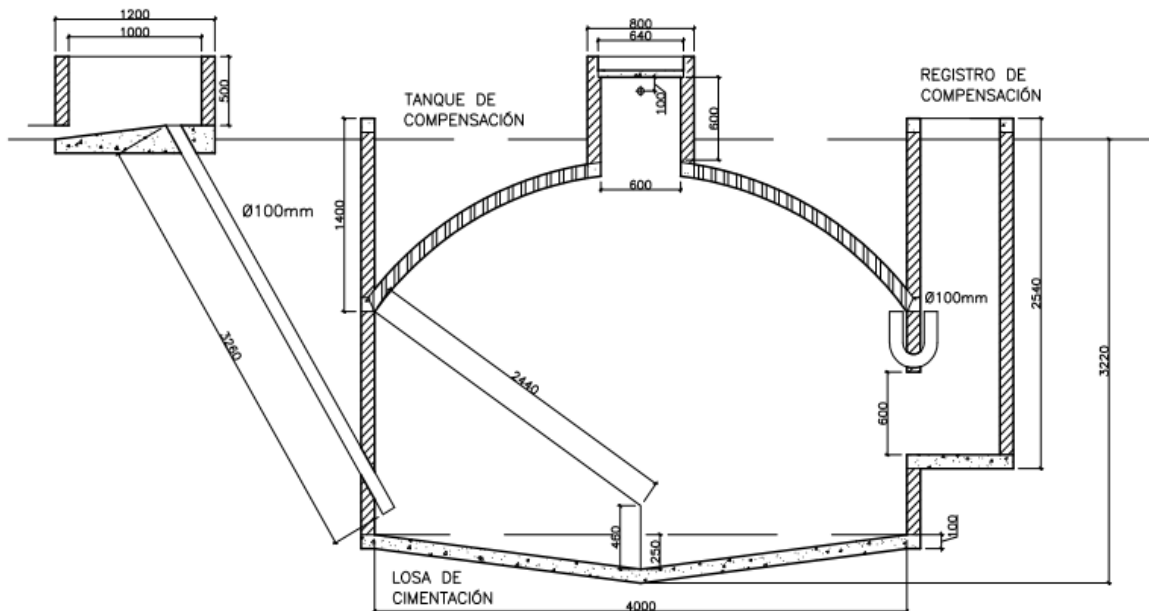
Anexo 17: Figura; 11 Instalación de agitador mediante un rotor Savonius



Anexo 18: Figura12; Plano de la planta del biodigestor de cúpula fija de 26,8 m³.

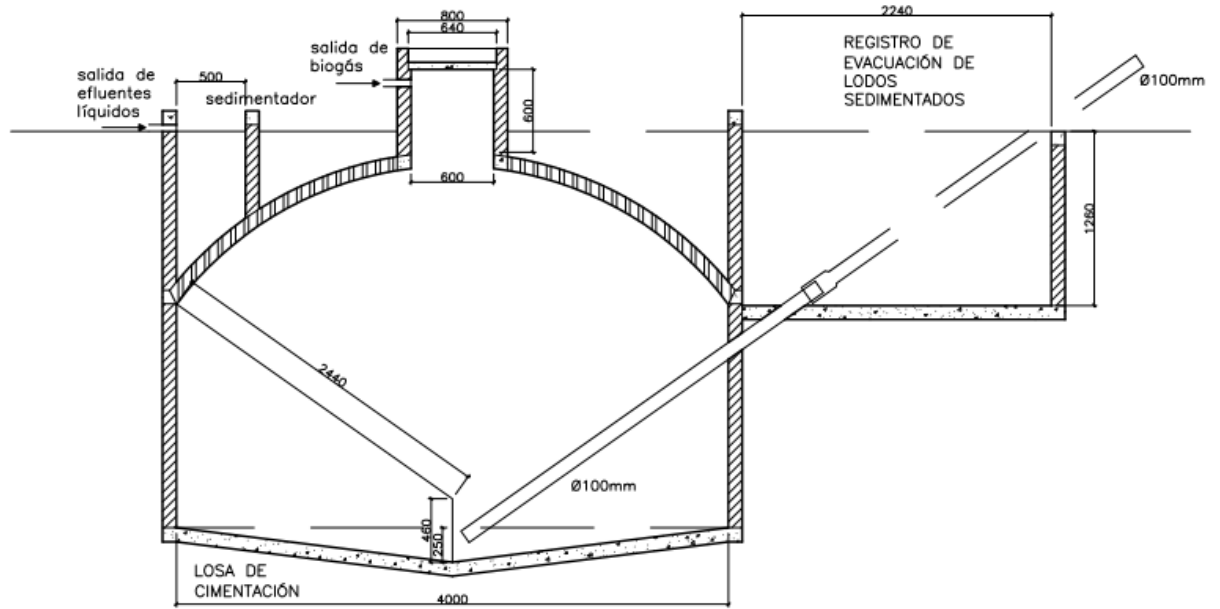


Anexo 19: Figura13; Plano de la sección a – a´ del biodigestor de cúpula fija de 26,8 m³.



Act
Ve a

Anexo 20: Figura14; Plano de la sección b – b´ del biodigestor de cúpula fija de 26,8 m³.



Activa
Ve a Co

