

“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO
PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS”

David González Estrada

Junio 2011

Agradecimientos

En primer lugar agradezco a Dios por ayudarme a terminar la carrera y este proyecto, por darme la fuerza y coraje para ver este sueño hecho realidad, por estar siempre a mi lado y ponerme en el camino correcto en todo momento. Te agradezco Señor por todo lo que de mi has hecho y por todo lo que he logrado hacer en tu nombre. Gracias por todo lo me has dado sin siquiera yo merecerlo; esta hermosa familia, estos grandes maestros, estos increíbles amigos, esta maravillosa escuela.

A mis padres por apoyarnos siempre y en todo momento durante toda nuestra vida, por inculcarnos buenos valores. Gracias por sus consejos y sus regaños, por sus desvelos y preocupaciones, por tratar de que no nos falte nada. Gracias por brindarnos una buena educación. No tengo palabras para agradecerles todo lo que han hecho por nosotros y para decirles lo mucho que los quiero.

A mis maestros por todos los conocimientos transmitidos durante las clases y fuera de ellas, por apoyarme incondicionalmente en este proyecto, por sus consejos, por la paciencia que me tuvieron y por creer en mí y ayudarme a cumplir este propósito.

A mis hermanos por siempre estar conmigo y apoyarme. Saben que somos una hermosa y muy unida familia, y créanme que si yo puedo terminar esto ustedes también lo pueden lograr.

A mis amigas y amigos por su sincera y franca amistad que siempre han mostrado desde tiempos inmemoriales, por estar a mi lado en diferentes circunstancias y por ser simplemente mis amigos.

Y por ultimo aunque no menos importante, agradezco a mi Alma Mater, mi Universidad Nacional Autónoma de México, mi Facultad de Ingeniería, el brindar la oportunidad a muchos jóvenes y regalar todo el conocimiento a quien realmente lo quiera.

Índice general

Agradecimientos	I
Introducción	VII
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Descripción del proceso	1
1.2. Tipos de biodigestores	3
1.2.1. Biodigestores discontinuos	3
1.2.2. Biodigestores semi-continuos	4
1.3. Modelos de biodigestores	5
1.3.1. Modelo chino	5
1.3.2. Modelo hindú	6
1.3.3. Modelo horizontal	7
1.4. Biogás	8
1.5. Clasificación y descripción de equipos en el mercado	13
1.5.1. Plantas de biogás	13
1.5.2. Biodigestores de bolsas de polietileno	14
1.5.3. Biodigestores tipo fosa	15

1.5.4. Biodigestor industrial	16
2. PROPUESTA DE DISEÑO	17
2.1. Especificaciones y requerimientos	17
2.2. Definición del problema	19
2.3. Búsqueda de alternativas de solución	21
2.3.1. Subsistema de alimentación	23
2.3.2. Subsistema de almacenamiento	26
2.3.3. Subsistema de almacenamiento del biogás	28
2.3.4. Mantenimiento y seguridad	31
2.4. Matriz morfológica	33
2.4.1. Subsistema de alimentación	34
2.4.2. Subsistema de almacenamiento	35
2.4.3. Subsistema de salida	36
2.4.4. Subsistema de movimiento de biomasa	38
2.4.5. Subsistema de almacenamiento de biogás	39
2.4.6. Subsistema de salida del biogás y sistema de drenado	40
2.5. Matrices morfológicas con diversos materiales para los subsistemas	41
2.5.1. Subsistema de almacenamiento	42
2.5.2. Subsistemas de alimentación, salida y drenado	42
2.5.3. Subsistema de movimiento de biomasa	43
2.5.4. Subsistema de almacenamiento de biogás	44
2.5.5. Subsistema de medición de presión	44
2.5.6. Soporte del sistema de trituración	45

2.6. Solución principal	46
2.6.1. Subsistema de alimentación	46
2.6.2. Subsistema de almacenamiento	47
2.6.3. Subsistema de salida	48
2.6.4. Subsistema de movimiento de biomasa	48
2.7. Matrices de decisión para los diversos materiales a usar en los subsistemas	49
2.7.1. Subsistema de alimentación, drenado y salida	49
2.7.2. Subsistema de almacenamiento	50
2.7.3. Subsistema de movimiento de biomasa	50
2.7.4. Subsistema de almacenamiento de biogás	51
2.7.5. Soporte del sistema de trituración	52
3. DISEÑO DE DETALLE	54
3.1. Descripción general	55
3.1.1. Sistema de almacenamiento	55
3.1.2. Sistema de entrada	56
3.1.3. Sistema de salida	57
3.1.4. Sistema de trituración	58
3.1.5. Sistema de almacenamiento de biogás	59
3.1.6. Sistema de movimiento de biomasa	61
3.2. Descripción detallada	62
3.2.1. Densidad del efluente	62
3.2.2. Volumen y peso máximo	62
3.2.3. Presión atmosférica	63

3.2.4. Diferentes presiones dentro del contenedor	64
3.2.5. Tiempo de vaciado del tanque	67
3.2.6. Forma del sistema superior de salida	71
3.2.7. Tiempo en que pasa la mezcla por las rejillas	72
3.2.8. Análisis del sistema de movimiento de biomasa	76
4. RESULTADOS	89
4.1. Costos de fabricación	89
4.2. Logros alcanzados	93
4.3. Encuesta	95
5. CONCLUSIÓN	98
Anexo 1	100
Bibliografía	111

Introducción

Se vive en un mundo basado en la constante competencia, el desarrollo, la innovación, la lucha por ser el primero y el mejor. Esto se observa en todos los niveles y estructuras sociales, ya que se encuentra en un constante cambio evolutivo, ya sea para bien o para mal de la misma sociedad. Pero más que una competencia, es la necesidad de la misma sociedad la que obliga a realizar estas mejoras a cualquier sistema ya planteado, para tratar de obtener un mayor beneficio en todo sentido: económico, político, social, ambiental, etc. México no es la excepción, ya que como en muchos otros países la globalización hace que se desate una constante competencia entre todos los sectores involucrados, la lucha por la calidad de los productos, la industrialización, el progreso, hacen que desafortunadamente los sectores que tienen mayor capital, tengan más, y los que menos tienen se vean forzados a tratar de alcanzar los estándares que los países más grandes y poderosos les imponen.

Es por ello que este proyecto de tesis trata de dar un paso más allá de la diferencia entre los distintos sectores de la población, dando paso a una nueva ideología de compromiso, por así decirlo, no solo con las personas más cercanas a uno, sino en general haciendo un bien común para todos, y todos, implica humanos, plantas, animales, medio ambiente, ríos, lagos, etc. La reutilización de los desechos orgánicos, producidos en el hogar tales como sobras de comida, productos en descomposición, hojas verdes, eses de mascotas, etc., es posible, así mismo, si

la ubicación lo permite, la utilización de estiércol de animales de granja como son: cerdos, vacas, borregos, conejos, gallinas, etc., son una parte importante para lograr convertir lo que antes parecía un desperdicio en una fuente de energía. Se pretende que toda las personas, sin importar su nivel económico y social, adopten la cultura de separación de desperdicios (basura) de sus hogares logrando con ello un beneficio no solo para aquellos sectores que puedan costear el proyecto, sino para todos los sectores que realmente les interese su economía y el medio ambiente en el que se desarrollan actualmente sus familias.

Por otro lado, se tiene que las grandes crisis económicas que actualmente se están enfrentando, son un duro golpe a la economía de todos los sectores de la población mexicana y la constante alza a los precios de los combustibles más utilizados (gasolina, diesel, gas L.P., gas natural) son otro efecto colateral ante la crisis que golpea fuertemente a los bolsillos de los mexicanos. Este proyecto tratará de dar una solución al problema de la alza de precios de los combustibles para tratar de sellar la fuga que existe en la mayoría de los bolsillos de los habitantes de este país.

Ahora bien, las grandes potencias basan su economía en la cantidad de energía que pueden obtener de los recursos naturales y el consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. El problema aparece, empero, cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan y surge el concepto de “crisis energética”. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende del constante movimiento evolutivo para el crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que la energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable para las grandes potencias que en un determinado momento la demanda de la población no pueda ser abastecida y el sistema se vea obligado a colapsar. Por eso es claro que, a menos que se descubran y desarrollen nuevas formas o métodos para obtener energía, la forma de producción actual va a ser insostenible.

Con esto en mente, actualmente hay una búsqueda de nuevas formas de energía que se conocen bajo el nombre de “energías alternativas”.

Estas energías alternativas no son nuevas, ya que algunas se vienen trabajando desde los años 50. Por eso, en estos tiempos, es claro que ya algunas energías alternativas son una realidad. Este proyecto se basa en una de ellas. Mi desarrollo, si bien no es nuevo, nunca se ha empleado para el beneficio de cualquier sector de la población de un país, sino que todos los desarrollos han sido enfocados a regiones marginadas y paupérrimas de algunos países, actualmente se usan estos desarrollos tecnológicos para evitar el consumo de leña en un hogar así como accidentes de intoxicación por los gases que desprende la leña al quemarse.

La idea principal de este proyecto se basa en que cada familia mexicana produce desechos orgánicos en su hogar diariamente, necesita tener combustible para la cocción o calentamiento de sus alimentos, no quiere gastar más de lo necesario, quiere un mejor ambiente para sus hijos, y necesita algo que sea de gran ayuda para su economía. Este proyecto plantea una solución a lo que se necesita y la principal idea a desarrollar es la creación de un prototipo autónomo para la obtención de biogás mediante la descomposición de materia orgánica, para su posterior uso en el hogar de una típica familia mexicana. La propuesta presentará un diseño sustentable, por lo que se dará solución a algunos problemas de la población mexicana con el diseño y fabricación de lo que es mejor conocido como un “Biodigestor”.

El biodigestor pretende ayudar a formar una nueva cultura en la sociedad, retribuyendo en un beneficio económico a todas aquellas familias que lo utilicen, así como un beneficio al medio ambiente evitando que el gas producido por la basura sea liberado a la atmósfera causando lo que se conoce como el efecto invernadero, ya que el gas que se genera por la basura es uno de los gases causantes de este efecto. Otro beneficio es el abono o biofertilizante que se puede obtener después de todo el proceso y que sirve para un mejor cultivo de plantas y hortalizas.

Generalmente se denomina “energía alternativa” o, más propiamente, fuentes de energía alternativa, a aquellas fuentes de energía diferentes a las tradicionales. Por otro lado no existe una definición clara de las tecnologías que se engloban dentro de este concepto y la definición de “energía alternativa” difiere según los autores. Para la mayoría de las definiciones, “energía alternativa” es equivalente al concepto de energía renovable o energía verde, mientras que para otras definiciones se considera energía alternativa a todas aquellas fuentes de energía que no implican la quema de combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo).

Los combustibles fósiles han sido la fuente de energía empleada durante todo el siglo. En la actualidad se presentan principalmente dos problemas para estos combustibles: por un lado, son finitos y se prevé el agotamiento de las reservas, principalmente el petróleo, en muy corto plazo. Por otra parte, la combustión de estos combustibles libera a la atmósfera gran cantidad de CO_2 , el cual ha sido la causa principal del calentamiento global. Es por ello, que se estudian diferentes opciones para sustituir la quema de combustibles fósiles por fuentes de energía que no generen estos problemas. Las energías alternativas se dividen en dos grandes grupos:

- Energía nuclear
- Fuentes de energía renovables

Dentro de las fuentes de energía renovables, se tienen:

- El viento (Energía eólica)
- El sol (Energía solar)
- Mares y océanos (Energía mareomotriz)
- Ríos y corrientes de agua dulce (Energía hidráulica)

- Desechos orgánicos (Biomasa, biogás)
- La llegada de masas de agua dulce a agua salada (energía azul)
- El calor de la tierra (Energía geotérmica)

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea porque existe una inmensa cantidad de ellas o porque son capaces de regenerarse por medios naturales rápidamente.

Por otra parte, el término de energía renovable no es una mera clasificación de las diferentes fuentes de energías sino que marca el comienzo de un cambio que deberá producirse. Es muy importante recalcar que las energías alternativas, aun siendo renovables, también son finitas y, como cualquier otro recurso natural, también tendrán un límite de explotación. Por lo tanto, aunque se logre realizar la transición a estas nuevas energías de manera gradual, tampoco permitirían continuar con el modelo económico actual basado en el crecimiento acelerado. Es por ello por lo que surge la necesidad de crear el concepto de “Desarrollo sustentable”. El modelo del desarrollo sustentable se basa en lo siguiente:

- El uso de fuentes de energía renovable, ya que las fuentes fósiles actualmente explotadas terminarán agotándose, según los pronósticos actuales, en el transcurso de este siglo XXI.
- El uso de fuentes limpias, abandonando los procesos de combustión convencionales.
- La explotación extensiva de las fuentes de energía, proponiéndose como alternativa el fomento del autoconsumo, que evite en la medida de lo posible la construcción de grandes infraestructuras de generación y distribución de energía eléctrica.
- La disminución de la demanda energética, mediante la mejora del rendimiento de los dispositivos eléctricos (electrodomésticos, lámparas, etc.)

- Reducir o eliminar el consumo energético innecesario. No sólo se trata de consumir más eficientemente, sino de consumir menos, es decir, desarrollar una conciencia y una cultura del ahorro energético y condenar el derroche.

La producción de energías limpias, alternativas y renovables, no sólo conlleva a la creación de una buena cultura, sino a un intento para tratar de mejorar el medio ambiente, lo cual ya es una necesidad impostergable. Es por ello, que actualmente es de suma importancia el tema de diseño sustentable, el cual es un concepto que contempla la creación de productos y sistemas que, no sean perjudiciales para el ambiente, socialmente equitativos y económicamente viables para su desarrollo. Desde un punto de vista ecológico, significa que el diseño debe ofrecer beneficios claros y cuantificables; por el lado social, debe ser un diseño que cubra las necesidades de todas las personas implicadas en su producción. Desde el punto de vista de uso, el diseño debe considerar si al final de la vida útil del producto es un desecho o puede reutilizarse; y finalmente desde un punto de vista económico, el diseño debe ser competitivo en términos de mercado.

Es por ello que, además de crear productos superiores, desde el punto de vista del diseño, funcionalidad y economía, se necesita pensar en el bienestar y mejora del planeta, en cómo economizar en términos de recursos naturales, en cuáles son los impactos en el ambiente, en los residuos que se generan, en los desechos y su descomposición. Con la ayuda de la ingeniería y la tecnología es posible seguir produciendo, al mismo tiempo que se preserva el futuro. No se trata de una nueva ideología verde, sino de dar continuidad a la vida.

Capítulo 1

ANTECEDENTES

“En los momentos de crisis, sólo la imaginación es más importante que el conocimiento”

Albert Einstein

1.1. Descripción del proceso

Existen diferentes tipos y modelos de biodigestores, pero el proceso es semejante en cada uno de ellos. El proceso de un biodigestor consiste en la fermentación de residuos orgánicos por medio de bacterias dentro de un recipiente herméticamente cerrado en ausencia de aire en su interior (descomposición anaerobia). Los residuos orgánicos son molidos y mezclados previamente con agua, para formar una pasta y se vierten en un depósito. El contenido se fermenta por la acción de las bacterias y dura entre 14 y 35 días según la temperatura del interior. El gas asciende en forma de burbujas al espacio libre y una tubería lo lleva al depósito de biogás para su posterior utilización en la estufa de una cocina como se muestra en la figura 1.1. Los residuos salientes del biodigestor sirven como fertilizantes para el campo.

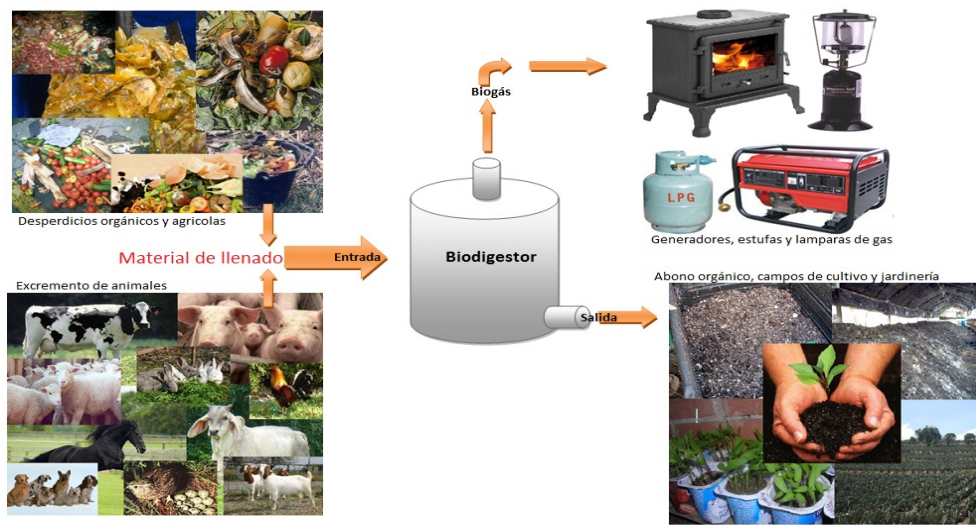


Figura 1.1: Proceso de un biodigestor

El biodigestor es un recipiente cerrado o tanque el cual puede ser construido con diversos materiales como ladrillo y cemento, metal o plástico, de forma cilíndrica o esférica. Posee un ducto de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica (eses de animales o humanos, las aguas sucias de las ciudades, basura orgánica, etc.) en forma conjunta con agua. Tiene, asu vez un ducto de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana abandona el biodigestor. Los materiales que ingresan al biodigestor se llaman afluente y los que lo abandonan se llaman efluente.

El proceso de digestión que ocurre en el interior de un biodigestor libera la energía química contenida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogás. La utilización de los biodigestores además de permitir la producción de biogás ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos, como son, por ejemplo:

- Mejora la capacidad fertilizante del estiércol.
- El efluente es mucho menos oloroso que el afluente.

- Control de patógenos. Aunque el nivel de destrucción de patógenos variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85% de los patógenos no sobreviven el proceso de biodigestión.
- Todos los nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio así como los elementos menores son conservados en el effluente. En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en forma de macromoléculas es convertido a formas más simples como amonio, las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta. Debe notarse que en los casos en que el estiércol es secado al medio ambiente, se pierde alrededor de un 50% del nitrógeno.

1.2. Tipos de biodigestores

Existen principalmente dos tipos de biodigestores: los discontinuos y los semi-continuos. En esta sección se presenta una descripción del proceso de biodegradación que realiza cada uno de ellos, así mismo se mencionan algunas ventajas y desventajas que se pueden tener con su utilización [2].

1.2.1. Biodigestores discontinuos

Los biodigestores discontinuos son contenedores cerrados, que una vez cargados con la materia orgánica no permiten extraer o añadir más materia hasta que finalice el proceso completo de biodegradación y producción de biogás. En otras palabras, el proceso finaliza cuando deja de producir todo el biogás posible. Estos tipo de biodigestores admiten mucha mayor cantidad de materia orgánica poco diluida, por lo que el requerimiento de agua es menor que en otros sistemas. Otro aspecto que los favorece es que no son afectados por la presencia de material

pesado como tierra o arena o algún residuo orgánico difícil de degradar como huesos, viseras, ramas, etc.

Un punto en contra de este tipo de biodigestor es que al final de todo el proceso, la producción de biogás es menor comparándola con la producción que se obtiene con los otros tipos de biodigestores; lo cual se debe al agotamiento de los nutrientes para los microorganismos.

1.2.2. Biodigestores semi-continuos

Los biodigestores semi-continuos son alimentados diariamente con una carga relativamente pequeña en comparación al contenido total; Esta se deposita en la cámara de carga, e igualmente se debe extraer de la cámara de descarga un volumen igual del efluente líquido para así mantener el volumen constante dentro del biodigestor. Generalmente producen biogás casi permanentemente, gracias al suministro constante de nuevos nutrientes para las comunidades de bacterias.

Una limitante importante es la disponibilidad de agua en la zona donde se colocará el biodigestor, debido a que la carga debe ser una mezcla de una parte de materia orgánica y cuatro partes de agua (1:4).

A este tipo de biodigestores también se les conoce como biodigestores de mezcla completa. La característica que define a estos biodigestores, es que la carga añadida periódicamente se mezcla casi en su totalidad con el contenido ya presente en la cámara de digestión. Como resultado, parte del material sin degradar sale en el efluente, lo cual evita que se pueda garantizar la eliminación total de agentes causantes de enfermedades en plantas y animales así como de semillas de plantas.

Los modelos de biodigestores industriales son esencialmente de tipo de mezcla completa, con una recirculación del líquido en suspensión y con agitación mecánica.

1.3. Modelos de biodigestores

Existen también modelos de biodigestores muy importantes, los cuales dan buenos resultados, pero al igual que los diferentes tipos de biodigestores, los modelos también tienen sus ventajas y desventajas. A continuación se mencionaran algunas.

1.3.1. Modelo chino

Consiste en una estructura cerrada con cámaras de carga y descarga que puede ser construida de concreto o ladrillos, como el que se muestra en la figura 1.2. Tienen una larga vida útil (mayor a 15 años) con un adecuado mantenimiento. Sin embargo, el relativo alto costo que representa la construcción de este modelo hace que no se haya popularizado en países latinoamericanos tanto como otros diseños. El biodigestor solo almacena un pequeño volumen del gas generado en el interior, por lo que requiere un contenedor diferente construido para tal fin (gasómetro).

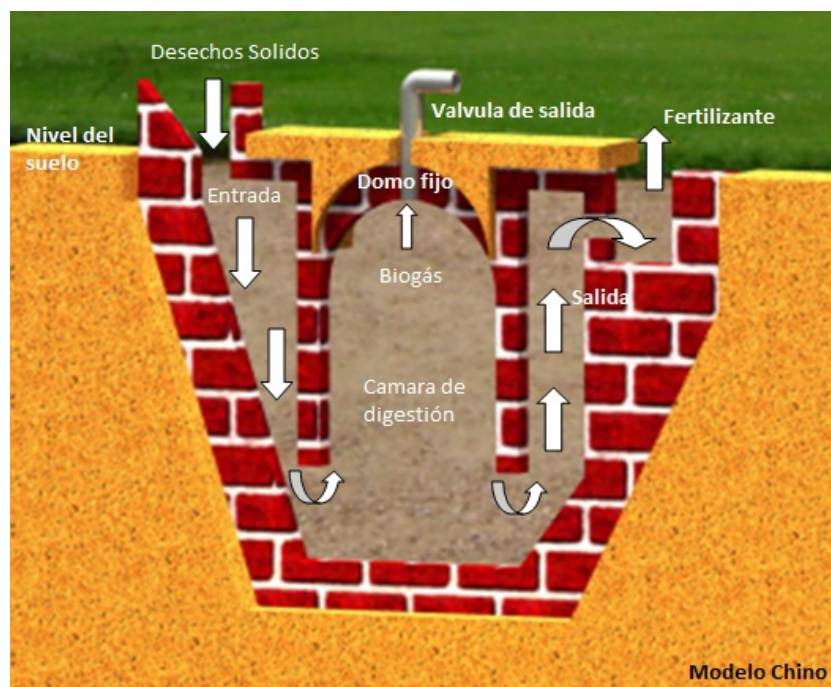


Figura 1.2: Modelo de biodigestor chino

1.3.2. Modelo hindú

También llamado de domo flotante. En su parte superior presenta una campana o domo que se mantiene flotando en el líquido a causa del biogás que retiene en su interior.

El domo debe ser de preferencia de un material resistente a la corrosión. La campana sube y baja dependiendo del volumen de gas que contiene, por lo que requiere de una guía central o rieles guía laterales que eviten el rozamiento contra las paredes de la estructura, mostrado en la figura 1.3. Este modelo tiene la ventaja de que no necesita un contenedor externo para almacenar el biogás generado y se mantiene a una presión relativamente constante al interior del domo, lo que es muy ventajoso.

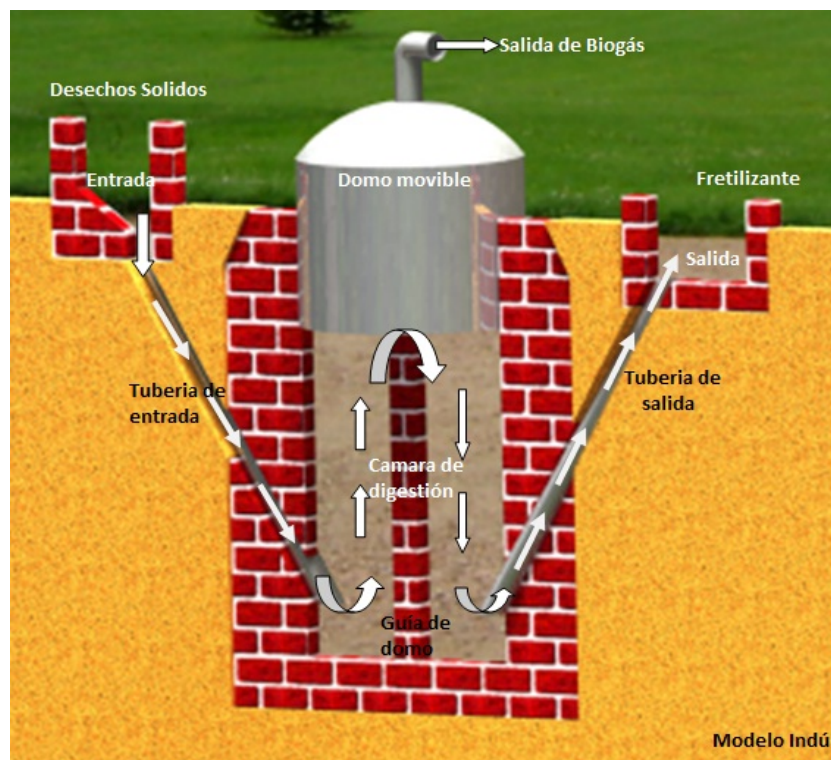


Figura 1.3: Modelo de biodigestor Hindú

1.3.3. Modelo horizontal

Son aquellos en los cuales la cámara de digestión es alargada y la degradación de los residuos transcurre a medida que transitan a lo largo del digestor. En esta categoría se encuentran los digestores familiares de bajo costo, mostrado en la figura 1.4. Es básicamente un digestor tubular horizontal en cuyos extremos se sitúan las cámaras de carga y descarga del sistema. Su configuración alargada impide que la carga líquida inicial y el efluente se mezclen; esto lo hace útil en el aprovechamiento de residuos que requieran un tratamiento prolongado, tales como excremento humano y ciertos desperdicios de sacrificio de animales.

Los biodigestores familiares de bajo costo, populares en países como Bolivia y otros en vía de desarrollo, son fáciles de implementar ya que se fabrican con grandes bolsas de polietileno. Suelen situarse dentro de una especie de zanja y su periodo de vida útil es de unos cinco años.

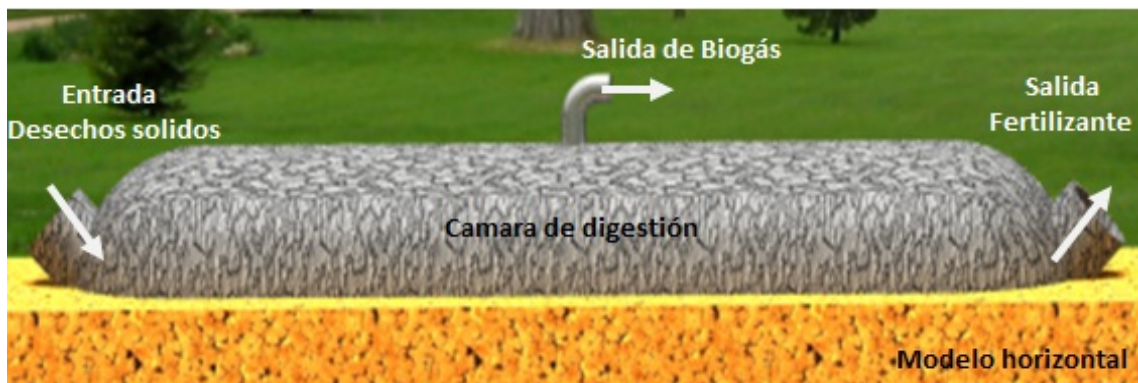


Figura 1.4: Modelo de biodigestor tipo horizontal

Además de los tipos y modelos de biodigestores mostrados anteriormente existen otros que cumplen con las mismas funciones principales, cambiando solo el tamaño, materiales y diseño.

1.4. Biogás

Este proyecto trata en específico del biogás o gas metano, el cual es un compuesto de carbono e hidrógeno, con fórmula química CH_4 . Es un hidrocarburo, el primer miembro de la serie de los alcanos. Se encuentra en el gas natural (entre un 75% y un 90%), así como en el gas de las minas de carbón, en los procesos de las refinerías de petróleo, y como producto de la descomposición de la materia orgánica [3].

- El biogás es más liviano que el aire y posee una temperatura de llama que alcanza $870[^\circ\text{C}]$.
- El biogás está compuesto por alrededor de 60% de Metano (CH_4) y 40% de Dióxido de Carbono (CO_2).
- Tiene en promedio un poder calorífico de $4600[\text{Kcal}/\text{m}^3]$.
- El biogás contiene una mínima cantidad de otros gases (1% de ácido sulfhídrico H_2S).

Como se mencionó anteriormente, el biogás se produce por la fermentación anaerobia de residuos orgánicos mezclados con agua dentro de un recipiente cerrado. El proceso digestivo se completa entre los 30 y 40 días produciéndose la mayor cantidad de biogás. Para mantener una producción constante se debe renovar periódicamente el afluente. Cuando los residuos no digeribles alcanzan cierta magnitud, se limpia el biodigestor (1 a 2 veces al año) vaciándolo totalmente. Por este motivo el biodigestor está provisto de mecanismos para la extracción de lodos y sobrantes, además de dispositivos para la acumulación y expulsión de gases, dispositivos de seguridad y el sistema de purga.

Cada carga de materia orgánica para el biodigestor se compone de sustancias sólidas orgánicas, sustancias sólidas inorgánicas y agua. Con el agua aumenta la fluidez del material de fermentación, lo cual es importante para el funcionamiento de una planta de biogás.

En un cieno¹ de fermentación líquido, las bacterias de metano llegan con más facilidad al material de fermentación fresco para alimentarse, de ese modo se acelera el proceso de fermentación, por eso, con una agitación periódica aumenta la producción de biogás. Un cieno con 5 a 10% de sólidos es apropiado para el funcionamiento de plantas de biogás continuas.

Aunque la digestión anaerobia es un proceso ampliamente conocido, en la práctica, se posee información muy limitada sobre su bioquímica y su microbiología ya que es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar, como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, la mayoría de estas reacciones ocurren de forma simultánea. Sin embargo, los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaerobia de la materia orgánica en cuatro fases:

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

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

¹Lodo blando que se deposita en el fondo de las lagunas o el lecho de ríos de poca profundidad.

croorganismos acetogénicos. Por último, los microorganismos metanogénicos producen metano a partir del ácido acético, H_2 y CO_2 .

Existen parámetros ambientales y operacionales que se deben cumplir para obtener el mayor aprovechamiento de los residuos dentro del biodigestor. Los parámetros ambientales que hay que controlar para tener una buena digestión anaerobia, hacen referencia a condiciones que deben mantenerse o asegurarse para el desarrollo del proceso. Estos son:

- pH, debe mantenerse cercano a la neutralidad.
- Nutrientes, con valores que aseguren el crecimiento de los microorganismos.
- Tóxicos e inhibidores, cuya concentración ha de ser la mínima posible. Los parámetros operacionales hacen referencia a las condiciones de trabajo de los reactores:
- Temperatura: Podrá operarse en los rangos de temperatura ambiente preferentemente entre 20[°C] y 30[°C].
- Agitación: En función del tipo de contenedor se deben de mover las bacterias, para que puedan degradar la materia entrante.
- Tiempo de retención. Tiempo medio de permanencia de la biomasa en el contenedor, sometido a la acción de los microorganismos.
- Velocidad de carga orgánica: Es la cantidad de materia orgánica introducida por unidad de volumen y tiempo. Valores bajos de velocidad de carga orgánica implican baja salida de la biomasa y elevado tiempo de retención. El incremento de velocidad de carga orgánica implica una reducción en la producción de gas por unidad de materia orgánica introducida.

Una vez que se pueden controlar y manipular todos los parámetros dentro y fuera del biodigestor, se pueden obtener algunas ventajas del mismo, tales como las siguientes:

-
- El biogás sirve como combustible.
 - El residuo digerido es casi inodoro y estabilizado.
 - Se conservan los nutrientes del biofertilizante.
 - Las moscas y roedores no son atraídos por el residuo.
 - El residuo digerido seco puede utilizarse como biofertilizante.

Cabe mencionar que en la naturaleza, el biogás se produce como producto final de la putrefacción anaeróbica de las plantas y animales. Este es un proceso natural y es el que se aprovechara para producir biogás. En la figura 1.5 se presentan los principales orígenes de metano, los cuales son:

- Descomposición de los residuos orgánicos 28%
- Fuentes naturales (pantanos): 23%
- Extracción de combustibles fósiles: 20% (El metano tradicionalmente se quemaba y emitía directamente. Hoy día se intenta almacenar en lo posible para aprovecharlo, formando el llamado gas natural).
- Los procesos en la digestión y defecación de animales. 17%. (Especialmente del ganado).
- Las bacterias en plantaciones de arroz: 12%

Principales orígenes de metano

- Descomposición de los residuos orgánicos.
- Fuentes naturales (pantanos).
- Extracción de combustibles fósiles.
- Los procesos en la digestión y defecación de animales.
- Las bacterias en plantaciones de arroz.

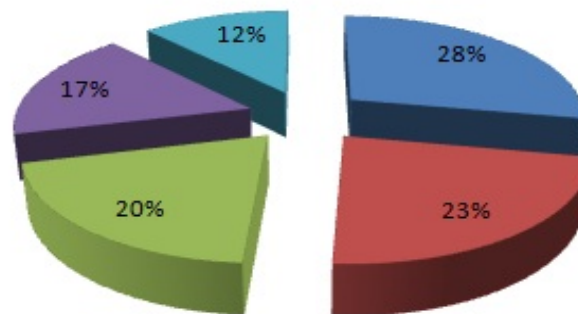


Figura 1.5: Principales orígenes de metano

La agricultura y la ganadería son una de las principales actividades humanas productoras de metano. Todos los años 400 millones de toneladas de metano son producidas por microbios que viven en condiciones anaeróbicas degradando la materia orgánica. Por otro lado, existe otro gran problema con la contaminación del medio ambiente, en lo relacionado con el cambio climático, el calentamiento global, el cambio de temporales, y un sinnúmero de problemas que se están provocando en la actualidad y están acabando con nuestro medio ambiente. El metano es uno de los gases causantes del efecto invernadero, el cual se produce de manera natural por la descomposición de materia orgánica y es el causante de muchos problemas en la atmósfera, ya que existen grandes fugas de este gas debido a los tiraderos de basura, ya sean clandestinos o legales, o bien cualquier tipo de desecho orgánico tirado a la intemperie. Por lo que, el biodigestor, ayudaría a controlar una parte de esa producción natural para convertirla en energía útil

1.5. Clasificación y descripción de equipos en el mercado

En las siguientes imágenes se muestran diferentes tipos de biodigestores que existen y se utilizan. Se describe el funcionamiento de cada uno de ellos y se mencionan algunas ventajas y desventajas.

1.5.1. Plantas de biogás

Las plantas de biogás, por lo general, presentan un alto costo de inversión, así como un gran espacio para su construcción. Además, se requiere de una gran cantidad de materia orgánica. Una de las grandes ventajas es que la producción de biogás que se obtiene alcanza hasta para la producción de energía eléctrica, apoyando a la economía de la población cercana. Tal y como se puede apreciar en la figura 1.6 se tienen dos grandes digestores conectados en serie y un gasómetro para el almacenamiento del biogás.

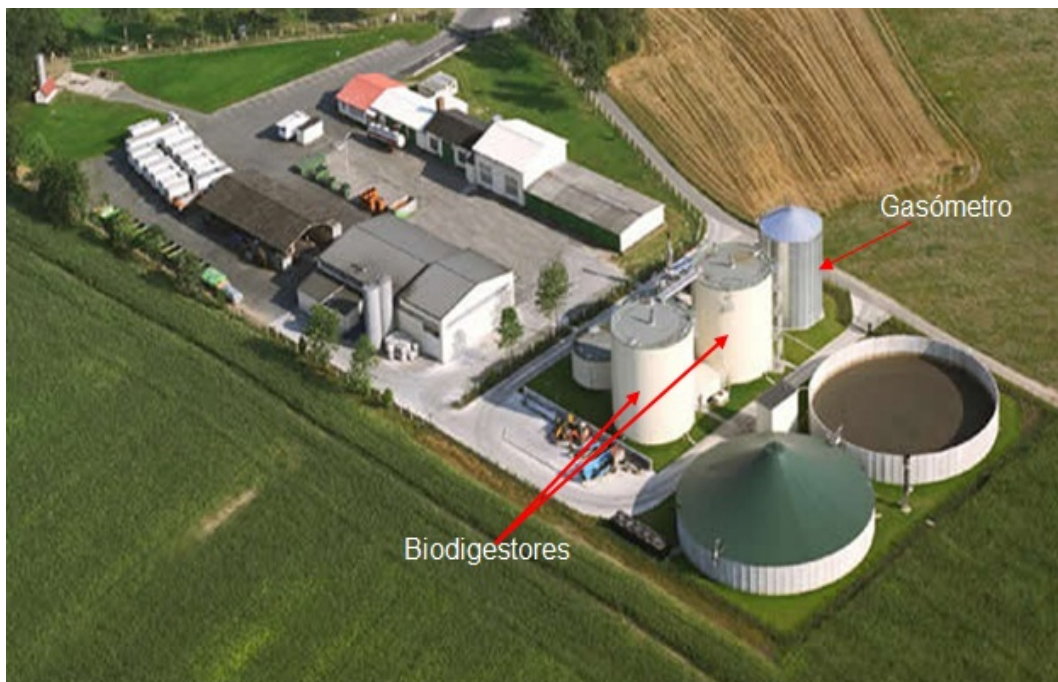


Figura 1.6: Planta de Biogás[1], Aprovechamiento de desechos de restaurantes en Hamburgo-Alemania

1.5.2. Biodigestores de bolsas de polietileno

Se puede apreciar en la figura 1.7 que este tipo de biodigestor es un modelo horizontal. Pero es evidente que nuevamente se necesita un gran espacio para instalar el biodigestor. Relativamente es más económico ya que solo se necesita la bolsa de polietileno y algunas válvulas. Así mismo, la carga con materia orgánica es mucho mayor a lo que una familia típica mexicana puede generar con desechos de cocina. En la figura 1.7 se pueden observar las dimensiones que se ocupan en este tipo de biodigestores.



Figura 1.7: Bolsa de polietileno [5]

1.5.3. Biodigestores tipo fosa

El principio de funcionamiento de estos biodigestores es del modelo chino. Como se puede apreciar en la figura 1.8, tiene una entrada para el afluente, una salida para el efluente, otra para la salida de biogás y su gasómetro externo. Pero nuevamente el espacio que ocupa es muy grande y el costo de la infraestructura es elevado.



Figura 1.8: Biodigestor tipo fosa [4]

1.5.4. Biodigestor industrial

Éste es un tanque construido por el departamento de energía de los EUA. Como se puede apreciar en la figura 1.9, es un tanque digestor anaeróbico hermético. Convierte los residuos orgánicos en metano, nivela y canaliza el metano para hacerlo productivo en lugar de liberarlo a la atmósfera. Ayuda a controlar el calentamiento global mientras produce una energía renovable que puede ser utilizado para la calefacción, la electricidad, o el funcionamiento de un motor de combustión interna; tiene sistemas que regula la temperatura y el pH automáticamente. El problema se presenta nuevamente en el costo, pero ahora en el proceso de fabricación del biodigestor, ya que los materiales usados como el acero inoxidable, los manómetros, válvulas de seguridad que se usan y sistemas que controlan los parámetros, hacen que este producto sea de un alto costo para algunos sectores de la población.



Figura 1.9: Biodigestor Industrial[8]

Capítulo 2

PROPUESTA DE DISEÑO

“Casi todo lo que realice será insignificante, pero es muy importante que lo haga”

Mahatma Gandhi

2.1. Especificaciones y requerimientos

Considerando todo lo anterior, en este capítulo se presenta la propuesta de diseño de un prototipo autónomo mediante el cual se pueda obtener biogás por medio de la descomposición anaerobia de materia orgánica. La propuesta es aprovechar los desperdicios orgánicos de una cocina típica, así como los alimentos perecederos, hojas y ramas de jardín, eses de animales, etc., para posteriormente almacenarlo en un sistema contenedor (digestor) para darle distintos usos domésticos al combustible; Se contará con un sistema que impida cualquier fuga del gas o mal olor, así como de fácil instalación, limpieza y transporte.

Requerimientos a considerar:

- El sistema debe ser capaz de producir gas metano, para consumo doméstico de una familia típica mexicana.
- El tiempo de limpieza del prototipo deberá realizarse anualmente.
- Se deberá contar con un movimiento regular de la biomasa dentro del contenedor.
- Se deberá contar con un contenedor para almacenar el biogás.
- El sistema debe ser de fácil manejo e instalación.
- Se deberá contar con un sistema que muele o triture los desechos orgánicos antes de entrar al contenedor para que los residuos de mayor tamaño no causen obstrucciones al momento de mover la biomasa o la salida del contenedor.
- Se deberá contar con elementos de seguridad para evitar fugas de biogás así como malos olores. Máxima seguridad en sistemas de válvulas y medidores de presión, así como en juntas y conexiones
- Los materiales de fabricación del prototipo deben ser resistentes a la corrosión.
- El accionamiento del prototipo es de forma manual.
- El alimentador (entrada) deberá tener dimensiones considerables para poder evitar obstrucciones de los desechos.
- El sistema debe ser lo más costeable posible.

Especificaciones:

- El proceso de operación debe realizarse en un periodo de tiempo no mayor a 35 días.
- La producción de biogás debe alcanzar $0.400[m^3]$, al final del proceso.
- Las dimensiones del sistema completo no serán mayores a un volumen de $2[m^3]$.

Jerarquización de requerimientos

En el cuadro 2.1 se presentan los requerimientos, su jerarquización se basa en el principal problema a solucionar.

Requerimiento	Jerarquización
Producción de gas	5
Volumen máximo	4
Materiales de fabricación	4
Fácil operación y mantenimiento	3
Seguridad en sistemas y conexiones	5
Accionamiento manual	5
Almacenamiento del alimentador	3
La geometría del alimentador	2
Costo	5

Cuadro 2.1: Jerarquización de requerimientos

2.2. Definición del problema

Se requiere un sistema que triture y reciba desechos orgánicos de una cocina típica, para mantenerlos dentro de un contenedor y por medio de un sistema anaerobio obtener biogás para su utilización, así como composta para abono. En la figura 2.1 se ilustra el procedimiento que se debe de seguir para la obtención del biogás.

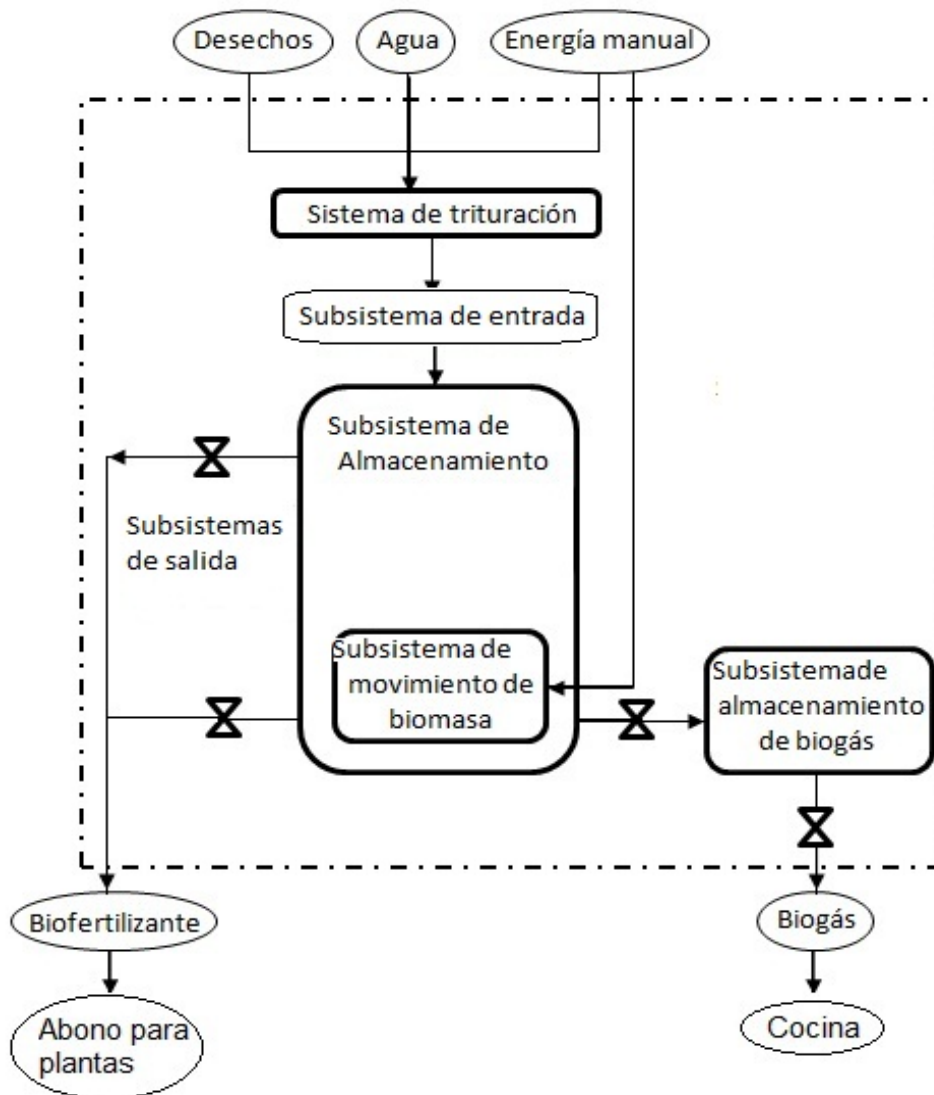


Figura 2.1: Diagrama de flujo del proceso

Los desechos son triturados y combinados con agua para posteriormente introducirlos a un sistema de entrada, el cual debe admitir mínimo $5[Kg]$ de desechos. El sistema de entrada lo pasa al sistema de almacenamiento para su fermentación. Una vez finalizado este proceso y obtenido todo el gas posible mediante el movimiento constante de los desechos, se puede retirar la biomasa por el sistema de drenado o si el contenedor se llena se pueden retirar los desechos por otra válvula de salida. Por otra válvula se deja pasar el gas a otro contenedor

de almacenamiento y de ahí a su utilización; el contenedor deberá proporcionar a la cocina el biogás a una presión constante.

En el diseño se propone utilizar un molino manual, para triturar los desechos y evitar la saturación y estancamiento de desechos en las tuberías. Por otra parte, el molino manual beneficiará porque el prototipo se convierte en un aparato fácil de ubicar en cualquier lugar al no necesitar de la corriente eléctrica además de ser más seguro.

La propuesta de diseño del prototipo presenta operaciones relativamente sencillas. Sin embargo, los problemas principales radican en el proceso de entrada de los desechos combinados con agua, en la forma de colocar los agitadores, los sellos, tapas y válvulas para evitar las posibles fugas de gas o biomasa, así como del diseño del gasómetro y la búsqueda de materiales para su utilización en el proyecto.

2.3. Búsqueda de alternativas de solución

Considerando la anterior, se propone utilizar algunas herramientas de la metodología TRIZ (“Teoriya Riesheniya Izobriatelskij Zadach” es un acrónimo ruso para “Teoría para Resolver Problemas de Inventiva”, desarrollada por Genrich Altshuller en 1946) para generar diversas ideas de los diferentes sistemas, una lluvia de ideas (Figura 2.2) para plantear una posible nueva solución al diseño del prototipo.



Figura 2.2: Lluvia de ideas

TRIZ

En la figura 2.3 se presenta parte de la matriz de contradicciones, la cual es la base de la metodología TRIZ para empezar el desarrollo del nuevo diseño.

Característica que se perjudica al cumplir el objetivo	Característica que mejora al cumplir el objetivo	Características de los objetos												
		Peso de objeto móvil	Peso de objeto inmóvil	Longitud del objeto móvil	Longitud del objeto inmóvil	Área del objeto móvil	Área del objeto inmóvil	Volumen de objeto móvil	Volumen de objeto inmóvil	Velocidad	Fuerza	Tensión o presión	Forma	Estabilidad de la composición del objeto
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Peso de objeto móvil	+	-	15, 8, 29, 34	-	29, 17, 38, 34	-	29, 2, 40, 28	-	2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39
2	Peso de objeto inmóvil	-	+	-	10, 1, 29, 35	-	35, 30, 13, 2	-	5, 35, 14, 2	-	8, 10, 19, 35	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40
3	Longitud del objeto móvil	8, 15, 29, 34	-	+	-	15, 17, 4	-	7, 17, 4, 35	-	13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34
4	Longitud del objeto inmóvil	-	35, 28, 40, 29	-	+	-	17, 7, 10, 40	-	35, 8, 2, 14	-	28, 10	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35
5	Área del objeto móvil	2, 17, 29, 4	-	14, 15, 18, 4	-	+	-	7, 14, 17, 4	-	29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39
6	Área del objeto inmóvil	-	30, 2, 14, 18	-	26, 7, 9, 39	-	+	-	-	-	1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37	-	2, 38
7	Volumen de objeto móvil	2, 26, 29, 40	-	1, 7, 4, 35	-	1, 7, 4, 17	-	+	-	29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39
8	Volumen de objeto inmóvil	-	35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14	-	-	-	+	-	2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40
9	Velocidad	2, 28, 13, 38	-	13, 14, 8	-	29, 30, 34	-	7, 29, 34	-	+	13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18
10	Fuerza	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12	+	18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21
11	Tensión o presión	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 28	10, 15, 36, 37	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36	36, 35, 21	+	35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40
12	Forma	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10	-	14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14	+	33, 1, 18, 4
13	Estabilidad de la composición del objeto	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	+
14	Fortaleza	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 13, 26, 14	10, 18, 3, 14	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35
15	Duración de la acción de un objeto móvil	19, 5, 34, 31	-	2, 19, 9	-	3, 17, 19	-	10, 2, 19, 30	-	3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35
16	Duración de la acción de un objeto inmóvil	-	6, 27, 19, 16	-	1, 40, 35	-	-	-	-	35, 34, 38	-	-	-	39, 3, 35, 23

Figura 2.3: Matriz de contradicciones del método TRIZ

La matriz de contradicciones permite modelar un problema como un conflicto entre dos parámetros ingenieriles a escoger de una lista de 39 parámetros (Ver anexo 1). Una vez localizado el par de parámetros en conflicto, la matriz proporciona los principios inventivos a usar y en qué

orden se debe hacer. Por lo general es necesario combinar dos o tres principios para conseguir algo parecido a una “solución satisfactoria”.

La principal virtud de la matriz de contradicciones, es que evita tener que repasar la lista de los 40 principios cuando se está tratando de resolver un problema. Los que han trabajado con la matriz pueden comprobar que ni siquiera representa contradicciones reales, aunque Genrich Altshuller las denominara de esa manera.

En las siguientes páginas se plantean algunas de las ideas generadas con la aplicación de la matriz de contradicciones. Algunas son de gran importancia y otras, si bien no se descartan, solo se ocupan en alguna parte del desarrollo de diseño.

2.3.1. Subsistema de alimentación

En lo referente al suministro de desechos, se requiere de un alimentador de dimensiones adecuadas para soportar mínimo 5[*kg*] de desechos triturados previamente combinados con agua. El alimentador debe ser de un material resistente a la corrosión, debe ser de una geometría adecuada para evitar la obstrucción de desechos y, sobre todo evitar fugas de gas.

Aplicando la matriz de contradicciones para el sistema de entrada (CASO I), se escogen los parámetros dentro de la matriz que más se acoplen al problema a resolver. El resultado que se obtiene en las intersecciones de los diferentes parámetros se presenta en el cuadro 2.2, En él se pueden encontrar los principios de inventiva con los que se puede resolver el problema. Los principios que se encuentran encerrados, son los que mas se repiten dentro de la matriz, para este caso I los principios son: 4,10, 11, 28, 30, 35 y 40.

PARÁMETRO QUE EMPEORA →

PARÁMETRO QUE MEJORA ↓	CASO I	2. Peso del objeto estacionario	12. Forma	14. Resistencia	25. Pérdida de tiempo	27. Confiabilidad	32. Manufactura
	2. Peso del objeto estacionario		15,10,26,3	40,26,27,1	10,20,26,5	3,10,8,28	1,27,36,13
	12. Forma	13,10,29,14		10,30,35,40	4,10,34,17	35,1,16,11	1,28,13,27
	14. Resistencia	28,2,10,27	30,14,10,40		29,3,28,18	11,28	1,3,10,32
	25. Pérdida de tiempo	10,20,26,35	14,10,34,17	29,3,28,10		10,30,4	35,28,34,4
	27. Confiabilidad	10,28,8,3	10,40,16	11,3	10,30,4		
	32. Manufactura	28,1,9	11,32,17,28	11,3,10,32	35,28,34,4		

Cuadro 2.2: Matriz de contradicciones caso I

A continuación se presenta la descripción de los principios de inventiva que mas se repiten para resolver la contradicción del caso I

Principio 4 Asimetría

- Un equilibrio es asimétrico cuando al dividir una composición en dos partes iguales, no existen las mismas dimensiones en tamaño, color, peso etc, pero existe un equilibrio entre dos elementos. En el equilibrio asimétrico, al ser desiguales los pesos a un lado y otro del eje, el efecto es variado.
- La asimetría transmite agitación, tensión, dinamismo, alegría y vitalidad; en este tipo de equilibrio una masa grande cerca del centro se equilibra por otra pequeña alejada del aquel.

Principio 10 Acción preliminar

- Ejecutar cambios antes de que se necesiten, sobre un objeto (total o parcialmente).
- Arreglar los objetos tal que puedan ir en acción desde un tiempo o posición conveniente.

Principio 11 Amortiguación previa

- Compensar la relativamente baja confiabilidad de un objeto tomando contramedidas en avance.

Principio 28 Sustitución de interacción mecánica

- Reemplazar un sistema mecánico por otro sensorial (óptico, acústico u olfatorio).
- Usar un campo eléctrico, magnético o electromagnético para interactuar con el objeto.
- Reemplazar campos: estacionarios por móviles, fijos por intercambiables, aleatorios por estructurados.
- Usar un campo en conjunto con partículas activadas (por ejemplo ferro-magnéticas).

Principio 30 Membranas flexibles o películas delgadas.

- Reemplazar construcciones tradicionales por otras de membranas flexibles o películas delgadas.
- Aislar un objeto de su ambiente usando membranas flexibles o películas delgadas.

Principio 35 Transformación de estados físicos y químicos de un objeto

- Cambiar el estado, densidad, flexibilidad, temperatura.

Principio 40 Materiales compuestos.

- Reemplazar material homogéneo con otro compuesto.

Con los principios obtenidos de la matriz se desarrolla una idea preliminar, en la cual se aplica el Principio 28 “Sustitución de interacción mecánica”. El cual sugiere “Reemplazar campos: estacionarios por móviles, fijos por intercambiables, aleatorios por estructurados.” Esto da la idea de que el subsistema debe ser móvil y tener piezas intercambiables.

2.3.2. Subsistema de almacenamiento

Se desea que los materiales a utilizar sean lo suficientemente resistentes para garantizar seguridad, funcionalidad y estabilidad al equipo y de ese modo minimizar los riesgos de fracturas, grietas y fallas en general. Los materiales que trabajaran directamente con los desechos orgánicos deben ser resistentes a la corrosión y las tuberías lo bastante durables y seguras, sin olvidar que éstos deben ser livianos para su fácil movilidad. En este momento podrían surgir varias contradicciones, tales como el aumento de peso del objeto o la dificultad al manufacturarlo. Pero con la aplicación de la matriz de contradicciones en el cuadro 2.3 para el CASO II se obtienen los siguientes principios de inventiva. Los principios que mas se repiten en este caso son: 1, 3, 8, 14, 26, 27 y 40.

CASO II	1.- Peso del objeto	14.- Resistencia	27.- Confiabilidad	29.- Precisión en manufactura	32.- Factibilidad para fabricación
1.- Peso del objeto		1,8,40,15	3,8,10,40	28,32,13,18	28,29,45,16
14.- Resistencia	28,27,18,40		11,28	3,27	1,3,10,32
27.- Confiabilidad	1,3,11,27	11,3		11,32,1	
29.- Precisión en manufactura	28,35,26,18	3,27	11,32,1		
32.- Factibilidad para fabricación	27,28,1,36	11,3,10,32			

Cuadro 2.3: Matriz de contradicciones caso II

Principios de inventiva para resolver contradicción del caso II:

Principio 1 Segmentación

- Dividir un objeto en partes independientes.
- Hacer un objeto divisible en secciones.
- Incrementar el grado de segmentación del objeto.

Principio 3 Calidad local

- Cambiar la estructura de un objeto o de un ambiente externo (o la influencia externa) de tal manera que el objeto tenga diferentes tipos o influencias en diferentes lugares o situaciones.
- Hacer que cada parte del objeto llene una función diferente y útil.

Principio 8 Contrapeso

- Compensar el peso de un objeto juntándolo con otro objeto que tiene una función de levante.
- Compensar el peso de un objeto al interactuar en un ambiente que le proporcione fuerzas aerodinámicas o hidrodinámicas.

Principio 14 Esfericidad Curvatura

- Reemplazar las partes lineales o planas por otras curvas.
- Reemplazar las formas cúbicas por esféricas. Usar rodillos o esferas aún en forma de espiral.
- Reemplazar el movimiento lineal con movimiento rotatorio.
- Utilizar una fuerza centrífuga.

Principio 26 Copiado

- Usar una copia simple y barata en vez de un objeto complejo, caro, frágil o con inconvenientes para operar.

- Reemplazar un objeto por una copia o imagen, aún a escala. Si las copias ópticas visibles han sido ya usadas, reemplázelas por copias infrarrojas o ultravioleta.
- Reemplaza un objeto, sistema o proceso con copias ópticas.

Principio 27 Objetos baratos y de corta vida por uno caro y durable

- Reemplazar un objeto caro por una colección de objetos baratos.

Principio 40 Materiales compuestos

- Reemplace material homogéneo con otro compuesto.

2.3.3. Subsistema de almacenamiento del biogás

Se requiere un contenedor para el almacenamiento del biogás (CASO III), la forma del gasómetro será de tipo domo flotante de tal manera que pueda brindar al biogás una presión para poder utilizarse en las estufas de biogás. Debe ser de bajo peso así como de fácil manipulación. Los materiales a usar deben ser resistentes al ambiente. La matriz de contradicciones para este caso puede observarse en el cuadro 2.4. Los principios que mas se repiten en este caso son: 1, 10, 11, 14, 15, 28, 35 y 40.

CASO III	1. Peso del objeto	12. Forma	14. Resistencia	27. Confiabilidad	32. Manufactura	33. Facilidad de operación	34. Facilidad de reparación	39. Capacidad/Productividad
1. Peso del objeto		8,10,29,40	1,8,40,15	3,8,10,40	29,28,16,15	25,2,13,15	2,27,35,11	35,26,24,37
12. Forma	10,14,35,40		10,30,35,40,	35,1,16,11	1,28,13,27	15,34,29,28	1,13,2,4	14,10,34,40
14. Resistencia	28,27,18,40	30,14,10,40		11,28	1,3,10,32	32,40,3,28	11,1,2,9	29,28,10,18
27. Confiabilidad	1,3,11,27	10,40,16	11,3,			17,27,8,40	11,10,1,16	1,35,10,38
32. Manufactura	27,38,1,36,	1,32,17,28	11,3,10,32			2,5,12	1,35,11,10	35,28,2,24
33. Facilidad de operación	35,3,2,24	32,15,26	32,40,25,2	27,17,40	2,5,13,16		1,12,26,15	1,28,7,10
34. Facilidad de reparación	2,27,28,11	2,13,1	27,11,3	1,11	35,1,11,9	12,26,1,32		1,32,10,25
39. Capacidad/Productividad	35,3,24,37	17,26,34,10	29,35,10,14	1,35,29,38	35,1,10,28	15,1,28	1,32,10	

Cuadro 2.4: Matriz de contradicciones caso III

Principios de inventiva para resolver contradicción del caso III.

Principio 1 Segmentación

- Dividir un objeto en partes independientes.
- Hacer un objeto divisible en secciones.
- Incrementar el grado de segmentación del objeto.

Principio 10 Acción preliminar

- Ejecutar cambios antes de que se necesiten, sobre un objeto (total o parcialmente).
- Arreglar los objetos tal que puedan ir en acción desde un tiempo o posición conveniente.

Principio 11 Amortiguación previa

- Compensar la relativamente baja confiabilidad de un objeto tomando contramedidas en avance.

Principio 14 Esfericidad Curvatura

- Reemplazar las partes lineales o planas por otras curvas.
- Reemplazar las formas cúbicas por esféricas.
- Usar rodillos o esferas aún en forma de espiral.
- Reemplazar el movimiento lineal con movimiento rotatorio.
- Utilizar una fuerza centrífuga.

Principio 15 Dinámica

- Hacer un objeto o su ambiente automáticamente ajustado para un desempeño óptimo en cada estadio de la operación.
- Dividir un objeto en elementos cambiando la posición relativa uno de otro.
- Si un objeto es inamovible, hágalo movible o intercambiable.

Principio 28 Sustitución de interacción mecánica

- Reemplazar un sistema mecánico por otro sensorial (óptico, acústico u olfatorio).
- Usar un campo eléctrico, magnético o electromagnético para interactuar con el objeto.
- Reemplazar campos: estacionarios por móviles, fijos por intercambiables, aleatorios por estructurados.
- Usar un campo en conjunto con partículas activadas (por ejemplo ferro-magnéticas).

Principio 35 Transformación de estados físicos y químicos de un objeto

- Cambiar el estado, densidad, flexibilidad, temperatura.

Principio 40 Materiales compuestos

- Reemplazar material homogéneo con otro compuesto.

2.3.4. Mantenimiento y seguridad

Respecto a la higiene del mecanismo (CASO IV), se requerirá limpieza anualmente de todo el sistema, ya que la biomasa es desechada con forme se llena el contenedor para evitar saturación. Además de eso, se debe evitar que los residuos se queden pegados en las paredes y por seguridad la revisión de todo el sistema. En el cuadro 2.5 se observa la matriz de contradicciones del caso IV. Los principios que mas se repiten en este caso son: 1, 2, 6, 14, 19, 25 y 31.

CASO IV	1. Peso del objeto móvil	2. Peso del objeto estacionario	8. Volumen del objeto estacionario	15. Duración de una acción del objeto móvil	33. Facilidad de operación
1. Peso del objeto móvil				19,5,34,31	25,2,13,15
2. Peso del objeto estacionario			35,10,19,14		6,13,1,25
8. Volumen del objeto estacionario		5,35,14,2			4,18,39,31
15. Duración de una acción del objeto móvil	5,34,31,35				29,3,8,25
33. Facilidad de operación	35,3,2,24	6,13,1,32		12,27	

Cuadro 2.5: Matriz de contradicciones caso IV

Principios de inventiva para resolver contradicción del cuadro IV

Principio 1 Segmentación

- Dividir un objeto en partes independientes.
- Hacer un objeto divisible en secciones.
- Incrementar el grado de segmentación del objeto.

Principio 2 Extracción

- Separar o remover partes o propiedades que perturban un objeto o sistema.

Principio 6 Multifuncionalidad o universalidad

- Hacer que una parte de un objeto o sistema ejecute múltiples funciones; elimina la necesidad de otras. El número de partes y operaciones decrece y las características útiles y sus funciones son retenidas.

Principio 14 Esfericidad Curvatura

- Reemplazar las partes lineales o planas por otras curvas.
- Reemplazar las formas cúbicas por esféricas.
- Usar rodillos o esferas aún en forma de espiral.
- Reemplazar el movimiento lineal con movimiento rotatorio.
- Utilizar una fuerza centrífuga.

Principio 19 Acción periódica

- Reemplace una acción continua con una periódica. Si una acción es periódica, cambie su frecuencia para una acción adicional.

Principio 25 Útil por sí mismo

- Hacer que un objeto o sistema sea útil por sí mismo desarrollando funciones auxiliares útiles, usando recursos, incluyendo energía y materiales (especialmente los desperdiciados) para aumentar el valor al sistema.

Principio 31 Uso de material poroso.

- Hacer un objeto poroso o agregar elementos porosos. Si un objeto ya es poroso, rellenar algunos poros.

Es muy importante, tomar en consideración los principios de inventiva obtenidos de las diferentes matrices para empezar a diseñar después de haber aplicado la matriz de contradicciones. De esta forma, se tiene una amplia visión del problema y de como puede visualizarse el diseño final. Ahora se pueden empezar a desarrollar varias ideas preliminares del mismo, por lo que el siguiente paso es utilizar matrices morfológicas para encontrar la forma más factible de cada uno de los sistemas.

2.4. Matriz morfológica

Es una de las técnicas más valiosas para generar gran cantidad de ideas en un corto período de tiempo y se desarrolló en los trabajos tecnológicos de la astrofísica y las investigaciones espaciales llevados a cabo en los años cuarenta, como resultado de los trabajos del astrónomo Fritz Zwicky.

Es una técnica que combina las ideas creativas y consiste en descomponer un concepto o problema en sus elementos esenciales o estructuras básicas.

Así pues, en su forma más básica, el análisis morfológico no es más que la generación de ideas por medio de una matriz. En donde se comparan distintas opciones de formas para cada una de los diferentes sistemas del prototipo. En la matriz se analizan las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas y se selecciona la mejor de acuerdo a los criterios definidos previamente. Las comparaciones se basan de los siguientes criterios de diseño funcionales:

- Seguridad
- Fácil operación y mantenimiento
- Fácil manufactura

- Costo
- Peso
- Volumen
- Materiales accesibles y reemplazables
- Estético y adecuado para su aplicación

2.4.1. Subsistema de alimentación

En el cuadro 2.6 se presentan cuatro diferentes alternativas para el sistema de alimentación. Cada una puede cumplir con la función para la que se requiere, ya que todas fueron desarrolladas a partir de la aplicación de la matriz de contradicciones.

Sistema	Alimentación			
Alternativa	<i>Cilindro con $\frac{3}{4}$ de esfera (Fig. 2.4)</i>	<i>Prisma cuadrado (Fig. 2.5)</i>	<i>Cilindro con tapa (Fig. 2.6)</i>	<i>Cónico (Fig. 2.7)</i>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Funcional ✓ Seguro ✓ Fácil operación ✓ Fácil mantenimiento ✓ Estético 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Funcional ✓ Fácil operación ✓ Fácil mantenimiento ✓ Bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Funcional ✓ Fácil manufactura ✓ Bajo costo ✓ Seguro ✓ Bajo volumen ✓ Estético ✓ Materiales reemplazables 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estético ✓ Fácil operación y mantenimiento ✓ Seguro ✓ Fácil manufactura
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • Dificultad en manufactura • Mayor peso • Materiales irremplazables 	<ul style="list-style-type: none"> • Inseguro • Mayor volumen • Mayor peso • No estético 		<ul style="list-style-type: none"> • No funcional • Materiales irremplazables

Cuadro 2.6: Matriz morfológica del sistema de alimentación

Es claro que todas las alternativas planteadas para el sistema de alimentación que se muestran en el cuadro 2.6 cumplen con la mayoría de los criterios funcionales planteados anterior-

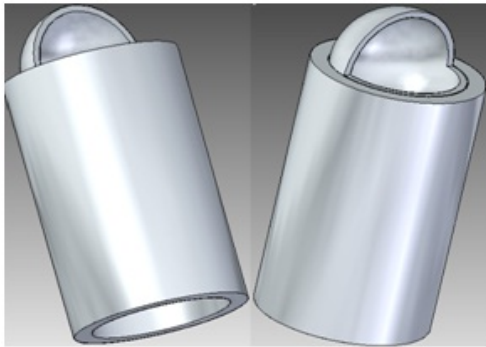
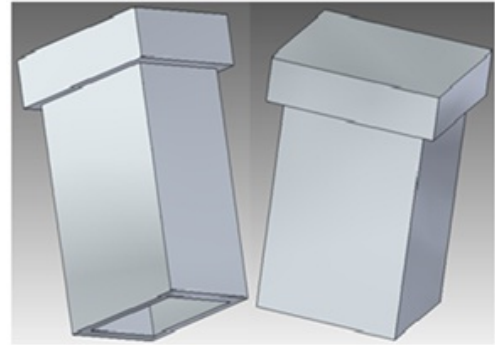
Figura 2.4: Cilindro con $\frac{3}{4}$ de esfera

Figura 2.5: Prisma cuadrado

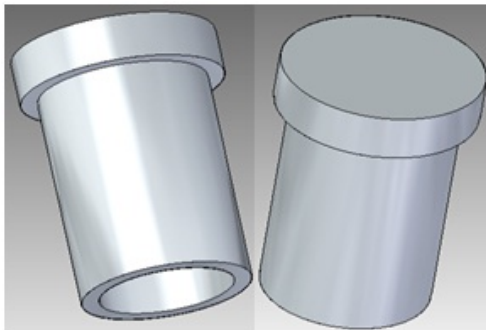


Figura 2.6: Cilindro con tapa

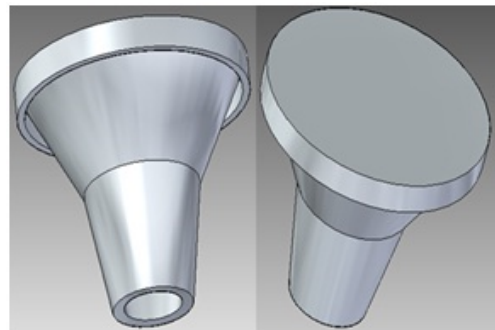


Figura 2.7: Cónico

mente y se puede apreciar la solución más óptima, pero es con las matrices de decisión en donde realmente se obtiene la opción correcta.

2.4.2. Subsistema de almacenamiento

Para el sistema de almacenamiento se lograron desarrollar dos alternativas con la aplicación de la matriz de contradicciones. En el cuadro 2.7 se presentan las alternativas planteadas así como las ventajas y desventajas de las mismas.

Sistema	Almacenamiento	
Alternativa	<i>Tanque "A"</i> (Fig. 2.8)	<i>Tanque "B"</i> (Fig. 2.9)
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Menor volumen ✓ Funcional ✓ Seguro ✓ Fácil manufactura ✓ Estético 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fácil manufactura ✓ Funcional ✓ Seguro ✓ Fácil operación ✓ Fácil mantenimiento
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • Mayor peso 	<ul style="list-style-type: none"> • No estético • Mayor peso • Alto costo

Cuadro 2.7: Matriz morfológica del sistema de almacenamiento

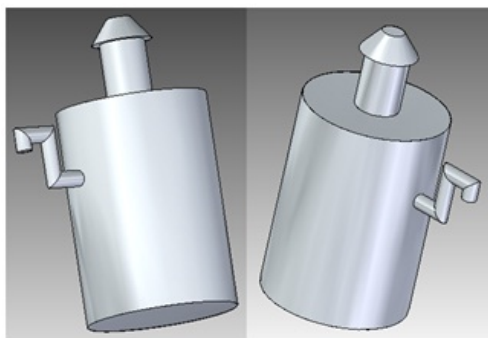


Figura 2.8: Tanque "A"

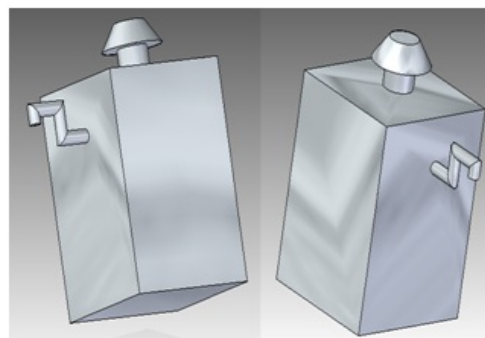


Figura 2.9: Tanque "B"

2.4.3. Subsistema de salida

Ahora bien, para el sistema de salida, se sugieren dos alternativas que se presentan en el cuadro 2.8, nuevamente se puede apreciar la posible solución, pero es importante esperar al final para unir todos los sistemas y armar el prototipo.

Sistema	Salida de biomasa	
	En "S" (Fig. 2.10)	Tubo recto (Fig. 2.11)
Alternativa		
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Funcional ✓ Seguro ✓ Materiales reemplazables ✓ Estético 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Funcional ✓ Seguro ✓ Materiales reemplazables ✓ Bajo peso ✓ Bajo costo ✓ Buen aspecto
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • Mayor peso 	

Cuadro 2.8: Matriz morfológica del sistema de salida

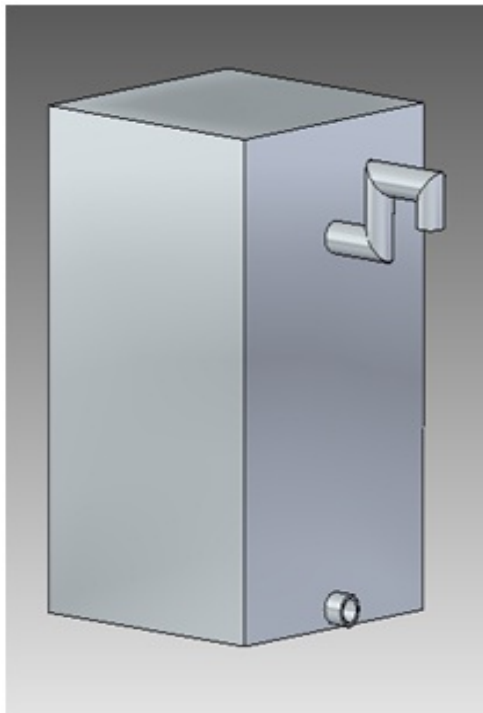


Figura 2.10: Salida en "S"

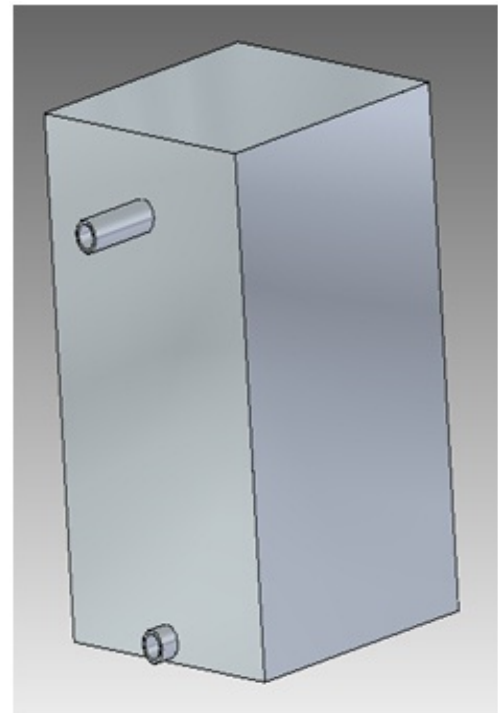


Figura 2.11: Tubo recto

2.4.4. Subsistema de movimiento de biomasa

Este sistema es sumamente importante ya que el movimiento de la biomasa es un factor relevante en el proceso de la fermentación y se debe satisfacer correctamente este requerimiento.

En el cuadro 2.9 se presentan tres alternativas para este sistema.

Sistema	Movimiento de biomasa		
Alternativas	<i>Tipo pez (Fig. 2.12)</i>	<i>Tipo reja (Fig. 2.13)</i>	<i>Tipo Coladera (Fig. 2.14)</i>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Seguro ✓ Fácil operación ✓ Fácil Mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fácil operación ✓ Fácil Mantenimiento ✓ Seguro 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Funcional ✓ Seguro ✓ Fácil operación ✓ Fácil mantenimiento ✓ Materiales reemplazables ✓ Costo justificado
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • No funcional • Manufactura compleja • Alto costo • Mayor peso • Materiales irremplazables 	<ul style="list-style-type: none"> • No funcional • Manufactura compleja • Alto costo • Mayor peso • Materiales irremplazables 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • Mayor peso

Cuadro 2.9: Matriz morfológica del sistema de movimiento de biomasa

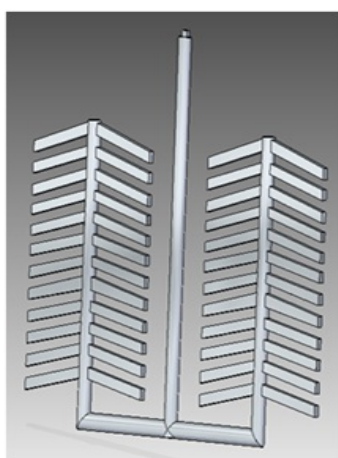


Figura 2.12: Tipo Pez

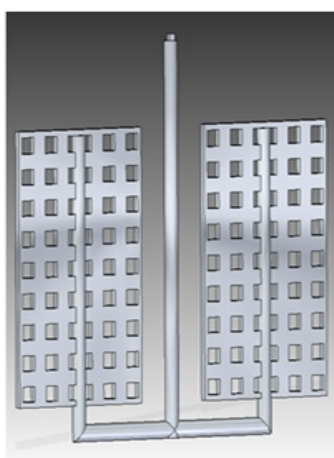


Figura 2.13: Tipo Reja

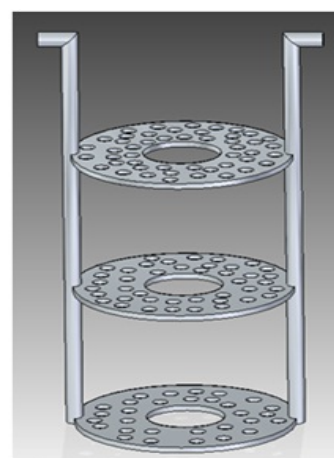


Figura 2.14: Tipo Coladera

2.4.5. Subsistema de almacenamiento de biogás

Para este sistema se presentan dos posibles alternativas en el cuadro 2.10, domo flotante y membrana elástica, las dos alternativas cumplen con la mayoría de los requerimientos pero en este caso no es apreciable la posible solución como en los casos anteriores.

Sistema	Almacenamiento de Biogás	
Alternativa	<i>Domo flotante (Fig. 2.15)</i>	<i>Membrana elástica (Fig. 2.16)</i>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Funcional ✓ Seguro ✓ Fácil operación y mantenimiento ✓ Bajo costo ✓ Buen aspecto ✓ Dimensiones pequeñas 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Funcional ✓ Seguro ✓ Fácil operación y mantenimiento ✓ Bajo costo ✓ Bajo peso ✓ Buen aspecto
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Manufactura compleja • Mayor peso 	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales irremplazables • Grandes dimensiones

Cuadro 2.10: Matriz morfológica del sistema de almacenamiento de biogás

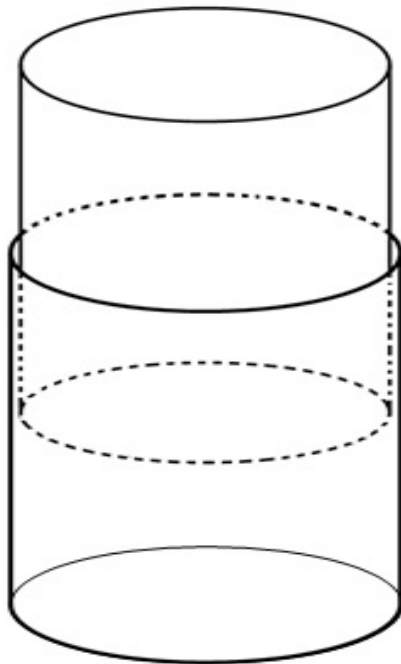


Figura 2.15: Domo Flotante



Figura 2.16: Membrana elástica

2.4.6. Subsistema de salida del biogás y sistema de drenado

Para estos sistemas no hay muchas alternativas, solamente aprovechando las propiedades físicas de los gases, se determina, para el sistema de salida del biogás colocar una válvula en la parte superior del contenedor, como se aprecia en la figura 2.17. Para facilitar la salida del gas, y con las propiedades físicas de los líquidos, se determina, para el sistema de drenado, colocar en la parte inferior, sobre un costado del contenedor, una válvula de salida para el drenado del tanque, tal como se aprecia en la figura 2.18.

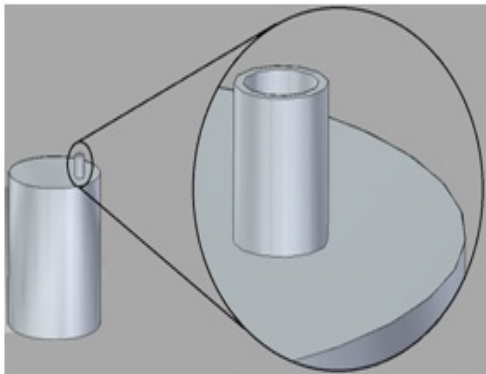


Figura 2.17: Salida del biogás

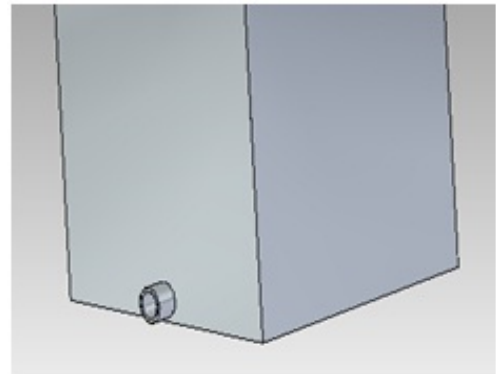


Figura 2.18: Drenado del tanque

2.5. Matrices morfológicas con diversos materiales para los subsistemas

Como ya se había mencionado anteriormente, todas las piezas del prototipo, tanto del contenedor como de los diferentes sistemas que están en contacto con la biomasa y el biogás deben de ser materiales resistentes a la corrosión. Así mismo, tanto el contenedor como los conductos del biogás deben soportar la presión del biogás.

En los cuadros siguientes se presentan matrices morfológicas con diversos materiales que posiblemente se pueden usar para la fabricación del prototipo; una parte importante del proyecto es buscar que sea lo más costeable posible, por lo que se buscan y utilizan materiales comerciales en la mayor parte del proyecto, tratando de minimizar el costo en lo posible. Si alguna piezas del proyecto tiene que ser fabricada ya sea por el alto costo de la pieza comercial o porque no existe la pieza en el mercado que cumpla con los requerimientos, ésta elevará el costo del prototipo.

Por otro lado, es evidente que para los sistemas de drenado del contenedor, salida de biogás y trituración no existen muchas alternativas por lo que para estos sistemas no se realizan matrices morfológicas, pero sí aparecen al final del diseño.

2.5.1. Subsistema de almacenamiento

En el cuadro 2.11 se presentan dos alternativas de posibles materiales para el sistema de almacenamiento. Las dos alternativas se encuentran en el mercado y son relativamente fáciles de conseguir. Así mismo, las dos cumplen con los criterios de diseño planteados y es claro observar en la matriz la posible solución al problema.

Sistema	Almacenamiento	
Alternativas	<i>Tambor de polietileno de alta densidad</i>	<i>Tambor de acero inoxidable</i>
Ventaja	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bajo peso ✓ bajo costo ✓ Fácil de conseguir ✓ Fácil operación ✓ Gran variedad de tamaños ✓ Durabilidad ✓ Resistente a la corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fácil limpieza ✓ Resistente a la corrosión ✓ Resistente al medio ✓ Estético
Desventaja		<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • Mayor peso

Cuadro 2.11: Matriz morfológica de materiales a usar para el sistema de almacenamiento

2.5.2. Subsistemas de alimentación, salida y drenado

Para los sistemas de alimentación, salida y drenado se presentan solo dos tipos de válvulas que se pueden conseguir en el mercado y estos se plantean en el cuadro 2.12, con sus respectivas ventajas y desventajas. Es importante considerar todos los criterios y principios de inventiva para la selección de posibles materiales, ya que así se abren las posibilidades de una buena elección.

Sistema	Salida (válvulas)	
Alternativa	<i>Válvulas de bronce o cobre</i>	<i>Válvulas de PVC</i>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mayor durabilidad ✓ Mayor resistencia al desgaste ✓ Variedad de tamaños y modelos 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bajo costo ✓ Fácil de conseguir ✓ Variedad de modelos y tamaños ✓ Sello hermético ✓ Bajo peso ✓ Resistente a la corrosión
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • Mayor peso • No resiste la corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> • Frágiles

Cuadro 2.12: Matriz morfológica de materiales a usar en los sistemas de alimentación, salida y drenado

2.5.3. Subsistema de movimiento de biomasa

En el cuadro 2.13 se presentan las alternativas de posibles materiales a usar en la fabricación del sistema de movimiento de biomasa, ya que el sistema no puede ser comprado en el mercado, sino que se tiene que fabricar.

Sistema	Sistema de movimiento de biomasa		
Alternativa	<i>Plástico (PVC, polietileno, etc.)</i>	<i>Acero inoxidable</i>	<i>Madera</i>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Funcional ✓ Bajo costo ✓ Fácil manufactura ✓ Estético ✓ Bajo peso ✓ Resistente a la corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Funcional ✓ Resistente a las cargas ✓ Durabilidad ✓ Estético ✓ Resistente a la corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fácil manufactura ✓ Bajo costo ✓ Bajo peso
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Posibles fallas por cargas 	<ul style="list-style-type: none"> • Peso elevado • Alto costo 	<ul style="list-style-type: none"> • Posibles fallas por cargas • Poco estético

Cuadro 2.13: Matriz morfológica de materiales a usar en el sistema de movimiento de biomasa

2.5.4. Subsistema de almacenamiento de biogás

Al igual que en el sistema anterior el sistema de almacenamiento de biogás tiene que ser fabricado ya que no existe pieza alguna en el mercado mexicano. La alternativa de membrana es una opción muy costosa, pero se colocó para que se hiciera una comparación, la cual se muestra en el cuadro 2.14.

Sistema	Almacenamiento de biogás			
Alternativa	<i>Tambores de Polietileno</i>	<i>Cámara de caucho</i>	<i>Hacer el domo (fibra de vidrio)</i>	<i>Comprar membrana</i>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Seguro ✓ Bajo costo ✓ Buen aspecto ✓ Fácil operación y mantenimiento ✓ Bajo peso ✓ Materiales reemplazables 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Seguro ✓ Funcional ✓ Fácil operación y mantenimiento ✓ Bajo peso ✓ Materiales reemplazables ✓ Buen aspecto 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Seguro ✓ Funcional ✓ Buen aspecto ✓ Fácil operación y mantenimiento ✓ Bajo peso ✓ Materiales reemplazables 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Seguro ✓ Funcional ✓ Fácil operación y mantenimiento ✓ Bajo peso ✓ Muy buen aspecto
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • No funcional • No cumple con los requerimientos en los tamaños 	<ul style="list-style-type: none"> • No cumple con los requerimientos en los tamaños 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • Manufactura compleja 	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales irremplazables • Muy, muy alto costo

Cuadro 2.14: Matriz morfológica de materiales a usar en el sistema de almacenamiento de biogás

2.5.5. Subsistema de medición de presión

El sistema de medición de presión es muy importante, ya que se requiere de seguridad en este prototipo. Este sistema puede prever alguna falla o fuga de biogás. En el cuadro 2.15, se presentan dos posibles alternativas para este sistema.

Sistema	Medición de presión	
Alternativas	<i>Manómetro Bourdon</i>	<i>Manómetro en mercurio</i>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Exactitud ✓ Seguridad ✓ Buen aspecto ✓ Materiales reemplazables 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bajo costo ✓ fácil instalación ✓ Materiales reemplazables
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • Mantenimiento constante 	<ul style="list-style-type: none"> • Inexacto • Inseguro

Cuadro 2.15: Matriz morfológica de materiales a usar en el sistema de medición de presión

2.5.6. Soporte del sistema de trituración

Se hace la propuesta, en el cuadro 2.16, de un soporte para el sistema de trituración. No es de gran importancia, pero se puede contar con una base para el sistema en caso de no tener donde colocarlo.

Sistema	Soporte del sistema de trituración		
Alternativa	<i>Ángulo de acero</i>	<i>Lamina Calibre 14</i>	<i>Plástico</i>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Seguro ✓ Buen aspecto ✓ Fácil operación y mantenimiento ✓ Materiales reemplazables ✓ Funcional 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Seguro ✓ Funcional ✓ Fácil operación y mantenimiento ✓ Materiales reemplazables ✓ Buen aspecto 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Funcional ✓ Buen aspecto ✓ Fácil operación y manteniendo ✓ Bajo peso ✓ Materiales reemplazables ✓ Bajo costo
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • Alto peso 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • Manufactura compleja 	<ul style="list-style-type: none"> • Manufactura compleja • Inseguro • Materiales irremplazables

Cuadro 2.16: Matriz morfológica de materiales a usar en el soporte del sistema de trituración

2.6. Solución principal

Finalmente se requiere elaborar una matriz de evaluación en donde se encuentren todas las opciones antes mencionadas de las matrices morfológicas. En esta matriz de evaluación se comparan todas las opciones de diseño que se contemplaron y de acuerdo a diversos criterios se les va asignado un valor a cada una de las opciones. Dichos valores dan un puntaje final a cada una de las opciones. Este puntaje deja ver cuál de las opciones es la más factible para el diseño.

Se le asigna un factor de peso a cada uno de los requerimientos predefinidos en el cuadro 2.1, de acuerdo a la jerarquización que desde un principio se definió. Posteriormente se le asigna a la alternativa un valor de la escala Dieter (cuadro 2.17) y se multiplica por el factor de peso; finalmente se suman los resultados y se obtiene la solución más factible para el sistema.

<i>Escala de cinco puntos</i>	<i>Descripción</i>
1	Inadecuada
2	Débil
3	Satisfactoria
4	Buena
5	Excelente

Cuadro 2.17: Escala Dieter

2.6.1. Subsistema de alimentación

Para el sistema de alimentación se tiene el cuadro 2.18. La matriz de decisión que se presenta tiene las alternativas posibles del sistema. Se puede observar la mejor alternativa después de compararlas con las demás y es la de mayor valor útil total. En este caso, el cilindro con tapa resulta ser la solución principal para el sistema por lo que se puede agregar al diseño final.

Sistema de Alimentación		Alternativas			
Requerimiento	Factor de peso	Cilindro con ¼ de esfera	Prisma cuadrado	Cilindro con tapa	Cónico
<i>Volumen máximo</i>	0.1	3/0.3	2/0.2	4/0.4	3/0.3
<i>Materiales y manufactura</i>	0.1	3/0.3	4/0.4	4/0.4	2/0.2
<i>Fácil operación y mantenimiento</i>	0.1	3/0.3	4/0.4	5/0.5	3/0.3
<i>Seguridad en sistemas y conexiones</i>	0.3	2/0.6	2/0.6	4/1.2	3/0.9
<i>Accionamiento manual</i>	0.1	3/0.3	2/0.2	4/0.4	3/0.3
<i>Almacenamiento del alimentador</i>	0.1	1/0.1	5/0.5	5/0.5	3/0.3
<i>Costo</i>	0.2	2/0.2	3/0.3	4/0.4	4/0.4
<i>Valor útil total</i>	1	2.1	2.6	3.8	2.7

Cuadro 2.18: Matriz de decisión para el sistema de alimentación

2.6.2. Subsistema de almacenamiento

El sistema de almacenamiento es un claro ejemplo de que las dos alternativas son muy buenas ya que ambas cumplen con los requerimientos necesarios. Se puede observar en el cuadro 2.19, en el valor útil total que el resultado hasta ahora es el mismo en ambas alternativas.

Almacenamiento		Alternativas	
Requerimiento	Factor de peso	Tanque "A"	Tanque "B"
<i>Volumen máximo</i>	0.2	5/1	4/0.8
<i>Materiales de fabricación</i>	0.1	5/0.5	5/0.5
<i>Fácil operación y mantenimiento</i>	0.1	3/0.3	3/0.3
<i>Seguridad en sistemas y conexiones</i>	0.3	4/1.2	4/1.2
<i>Accionamiento manual</i>	0.1	4/0.4	4/0.4
<i>Costo</i>	0.2	3/0.6	4/0.8
<i>Valor útil total</i>	1	4.0	4.0

Cuadro 2.19: Matriz de decisión para el sistema de almacenamiento

2.6.3. Subsistema de salida

Nuevamente en el cuadro 2.20 se presentan para el sistema de salida dos alternativas factibles con un valor útil muy similar con una variación mínima, lo que significa que ambas fueron desde un principio una alternativa de solución al problema.

Salidas		Alternativas	
Requerimiento	Factor de peso	En "S"	Tubo recto
<i>Volumen máximo</i>	0.2	3/0.6	3/0.6
<i>Materiales de fabricación</i>	0.1	2/0.2	2/0.2
<i>Fácil operación y mantenimiento</i>	0.1	5/0.5	5/0.5
<i>Seguridad en sistemas y conexiones</i>	0.3	4/1.2	3/0.9
<i>Accionamiento manual</i>	0.1	4/0.4	4/0.4
<i>Costo</i>	0.2	3/0.6	4/0.8
<i>Valor útil total</i>	1	3.5	3.4

Cuadro 2.20: Matriz de decisión para el sistema de salida

2.6.4. Subsistema de movimiento de biomasa

Este sistema tiene tres posibles alternativas y es un punto decisivo para el diseño. Se tiene que escoger el que mayor valor útil posea y, en este caso, como se observa en el cuadro 2.21, el tipo coladera resultó más favorable en comparación con las otras dos alternativas, que si bien no son malas ideas, si presentan alguna desventaja como su funcionamiento.

Movimiento de biomasa		Alternativas		
Requerimiento	Factor de peso	<i>Tipo pez</i>	<i>Tipo reja</i>	<i>Tipo Coladera</i>
<i>Producción de gas</i>	0.2	2/0.4	3/0.6	4/0.8
<i>Materiales de fabricación</i>	0.1	2/0.2	2/0.2	2/0.2
<i>Fácil operación y mantenimiento</i>	0.3	3/0.9	3/0.9	2/0.6
<i>Seguridad en sistemas y conexiones</i>	0.1	2/0.2	2/0.2	4/0.4
<i>Accionamiento manual</i>	0.2	5/1.0	5/1.0	5/1.0
<i>Costo</i>	0.1	2/0.2	2/0.2	2/0.2
<i>Valor útil total</i>	1	2	3.1	3.2

Cuadro 2.21: Matriz de decisión para el sistema de movimiento de biomasa

2.7. Matrices de decisión para los diversos materiales a usar en los subsistemas

Ahora bien las matrices de decisión para los diferentes materiales que se pueden usar se presentan en los siguientes cuadros, separados para cada sistema.

2.7.1. Subsistema de alimentación, drenado y salida

En los sistemas de alimentación, drenado y salida, se tiene que la mejor alternativa resulto ser utilizar válvulas de PVC. Como se puede apreciar en el cuadro 2.22, un factor muy importante fue el costo por lo que obtuvieron un resultado favorable en comparación con las válvulas de cobre.

Salida y drenado		Alternativas	
Requerimiento	Factor de peso	<i>Válvulas de bronce</i>	<i>Válvulas de PVC</i>
<i>Materiales de fabricación</i>	0.1	2/0.2	2/0.2
<i>Fácil operación y mantenimiento</i>	0.1	5/0.5	5/0.5
<i>Seguridad en sistemas y conexiones</i>	0.4	4/1.6	4/1.6
<i>Accionamiento manual</i>	0.1	4/0.4	4/0.4
<i>Costo</i>	0.2	3/0.6	5/1
<i>Valor útil total</i>	1	3.3	3.7

Cuadro 2.22: Matriz de decisión para los subsistemas de alimentación, drenado y salida

2.7.2. Subsistema de almacenamiento

Para este sistema se tienen dos alternativas y en el cuadro 2.23 se presenta la solución más aceptable, que en este caso resulto ser el tambor de polietileno. Un factor que definió la elección de esta alternativa fue el costo ya que es un factor muy importante del diseño.

Almacenamiento		Alternativas	
Requerimiento	Factor de peso	<i>Tambor de polietileno de alta densidad</i>	<i>Tambor de acero inoxidable</i>
Volumen máximo	0.2	5/1.0	5/1.0
Materiales de fabricación	0.1	5/0.5	5/0.5
Fácil operación y mantenimiento	0.2	4/0.8	4/0.8
Accionamiento manual	0.2	5/0.8	5/0.8
Costo	0.3	5/1.5	2/0.6
<i>Valor útil total</i>	1	4.6	3.7

Cuadro 2.23: Matriz de decisión para el subsistema de almacenamiento

2.7.3. Subsistema de movimiento de biomasa

La matriz de decisión para los materiales del subsistema de movimiento de biomasa se presenta en el cuadro 2.24. En ella se puede apreciar que la solución más factible es usar el

acero inoxidable, ya que si bien el material es costoso, es el único que cumple con la funcionalidad que se requiere.

Movimiento de biomasa		Alternativas	
Requerimiento	Factor de peso	<i>PVC o poliestireno</i>	<i>acero inoxidable</i>
Producción de gas	0.3	1/0.3	1/0.3
Materiales de fabricación	0.2	4/0.8	4/0.8
Fácil operación y mantenimiento	0.1	2/0.2	5/1.0
Accionamiento manual	1	3/0.3	5/0.5
Costo	0.3	5/1.5	1/0.3
<i>Valor útil total</i>	1	3.1	2.9

Cuadro 2.24: Matriz de decisión para el subsistema de movimiento de biomasa

2.7.4. Subsistema de almacenamiento de biogás

Con las alternativas para el subsistema de almacenamiento de biogás, se tiene en el cuadro 2.25, que la más factible es la fabricación con fibra de vidrio tipo domo. Esto resulta al descartar completamente la membrana por su altísimo costo.

Almacenamiento de biogás		Alternativas			
Requerimiento	Factor de peso	<i>Tambores de polietileno</i>	<i>Cámara de caucho</i>	<i>Fibra de vidrio</i>	<i>Membrana</i>
<i>Volumen máximo</i>	0.3	1/0.3	1/0.3	2/0.6	2/0.6
<i>Materiales de fabricación</i>	0.1	3/0.3	3/0.3	3/0.3	3/0.3
<i>Fácil operación y mantenimiento</i>	0.1	3/0.3	2/0.2	4/0.4	2/0.2
<i>Seguridad</i>	0.2	4/0.8	4/0.8	4/0.8	4/0.8
<i>Accionamiento manual</i>	0.1	3/0.3	3/0.3	4/0.4	2/0.2
<i>costo</i>	0.2	3/0.6	3/0.6	3/0.6	1/0.2
<i>Valor útil total</i>	1	2.6	2.5	3.1	2.3

Cuadro 2.25: Matriz de decisión para el subsistema de almacenamiento de biogás

2.7.5. Soporte del sistema de trituración

También se planteó una matriz en el cuadro 2.26. En ella se puede apreciar que dos de las alternativas son factibles por lo que da un resultado muy cercano en ambas alternativas.

Soporte del sistema de trituración		Alternativas		
Requerimiento	Factor de peso	<i>Angulo de acero</i>	<i>Lamina calibre 14</i>	<i>Plástico</i>
<i>Volumen máximo</i>	0.3	3/0.9	3/0.9	3/0.9
<i>Materiales de fabricación</i>	0.1	3/0.3	3/0.3	2/0.2
<i>Fácil operación y mantenimiento</i>	0.1	4/0.4	4/0.4	3/0.3
<i>Seguridad</i>	0.2	4/0.8	4/0.8	1/0.2
<i>Accionamiento manual</i>	0.1	3/0.3	3/0.3	3/0.3
<i>costo</i>	0.2	3/0.6	3/0.6	4/0.4
<i>Valor útil total</i>	1	3.3	3.3	2.3

Cuadro 2.26: Matriz de decisión para soporte del subsistema de trituración

Analizando las opciones de mayor valor tenemos una idea más clara de lo que será el diseño final del prototipo y sus componentes principales. Ahora es posible saber cómo será su geometría. Es importante mencionar que no siempre se escoge la solución de mayor valor útil, ya que se debe buscar que el nuevo diseño satisfaga las necesidades de todos los sistemas. Un claro ejemplo se tiene en la decisión que se toma al utilizar el tanque “A”, en vez del tanque “B”, porque resulta ser más funcional al combinarlo con el sistema de movimiento de la biomasa tipo coladera. Es por ello que en la figura 2.19 se presenta como solución final el tanque “A”, junto con el sistema de movimiento de biomasa tipo coladera, el sistema de entrada de cilindro con tapa, así como el contenedor de biogás tipo domo.

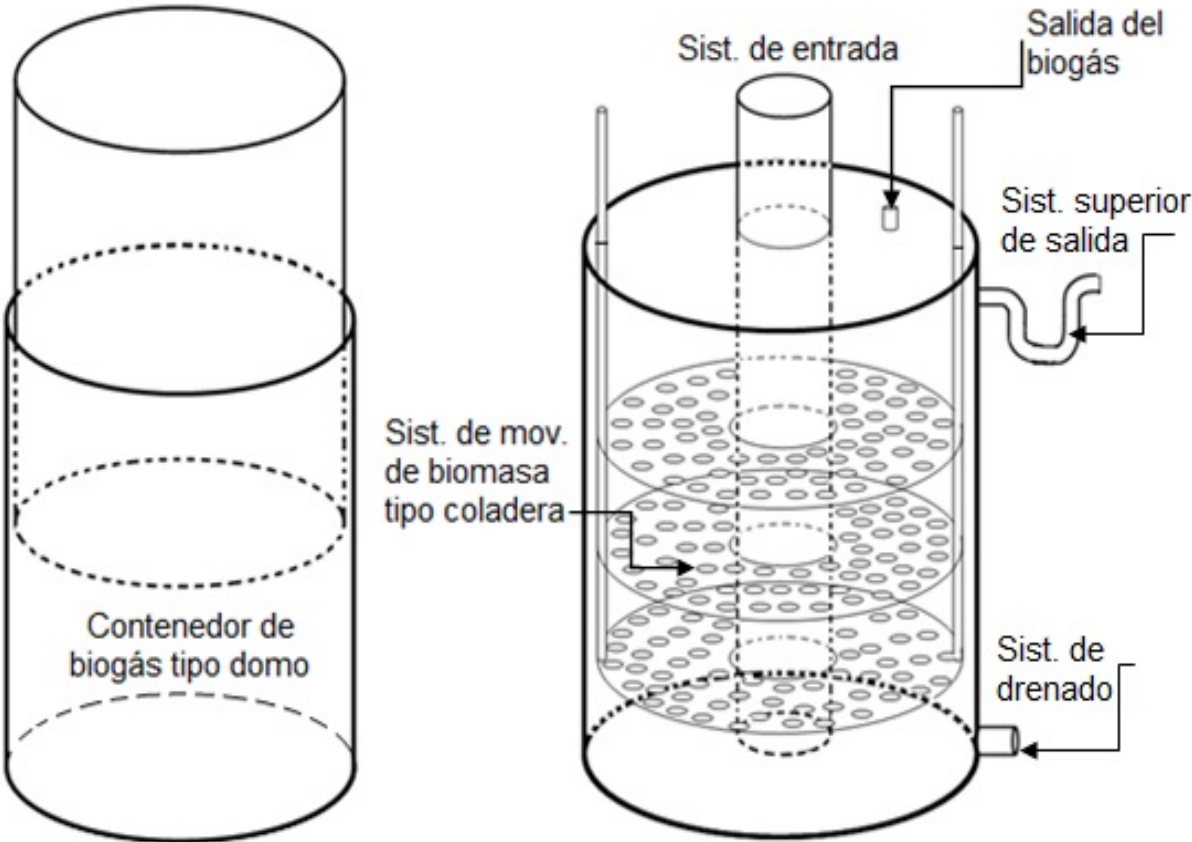


Figura 2.19: Diseño preliminar del prototipo

Capítulo 3

DISEÑO DE DETALLE

“No podemos resolver problemas pensando de la misma manera que cuando los creamos”

Albert Einstein

En este capítulo se presenta una descripción detallada de cada uno de los componentes, los principios básicos de funcionamiento, así como algunas especificaciones.

Para los componentes comerciales del prototipo, como el contenedor, conductos, válvulas, conexiones, juntas, abrazaderas, etc., no se presentan planos. Solamente se eligió el componente indicado de acuerdo al diseño, cálculos y pruebas realizadas. Para los sistemas de movimiento de biomasa, gasómetro y la base del sistema de trituración se presentan los planos de fabricación y ensamble.

También se presentan las piezas finales modeladas en 3D, así como el análisis de algunos componentes utilizando herramientas CAE, considerando fuerzas aplicadas y propiedades de los materiales.

3.1. Descripción general

De acuerdo a las especificaciones y requerimientos generales des apartado 2.1, las dimensiones de la maquina no deben superar los 2 $[m^3]$ por lo que las dimensiones aproximadas del prototipo final se presenta a continuación.

3.1.1. Sistema de almacenamiento

Las dimensiones del sistema de almacenamiento, son las que se muestran en la figura 3.1. El contenedor cuenta con un diámetro de 0.6 $[m]$, una altura de 0.9 $[m]$ más una altura sobresaliente de 0.2 $[m]$ correspondiente al sistema de entrada. Esto da como resultado un volumen aproximado de 0.26 $[m^3]$.



Figura 3.1: Dimensiones del biodigestor

Para el contenedor se propone utilizar un tambor cilíndrico con capacidad de 208 $[L]$ elanillado abierto, fabricado de polietileno de alto peso molecular y de alto impacto en color

negro. La forma cilíndrica es apropiada para simplificar la forma y funcionamiento del sistema de movimiento de biomasa.

El color negro del tambor se aprovecha para elevar la temperatura dentro del contenedor ya que la pigmentación negra no refleja ninguna luz. La luz que recibe es absorbida por el objeto pigmentado que de esa manera “atrapa” la energía aumentando su cantidad de calor y por consecuencia, su temperatura. Es por eso que el color negro opaco es usado en los captadores de energía solar. Esto ayuda a incrementar la temperatura dentro del contenedor.

3.1.2. Sistema de entrada

Para el sistema de entrada se propone utilizar un tubo comercial de PVC de 2” de diámetro con una longitud de 1 [m]. Como se puede observar en la figura 3.2, esta geometría facilita un rápido vaciado de los desechos.

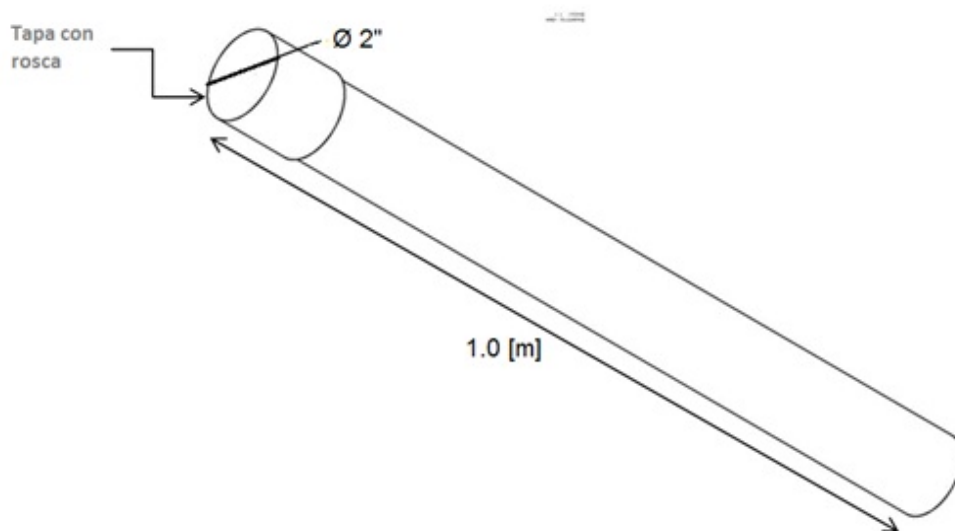


Figura 3.2: Dimensiones del sistema de alimentación

Se utiliza una contra-tuerca comercial de 2" como la mostrada en figura 3.3 para reducir el riesgo de fugas entre el tubo y la tapa del contenedor, asegurando así el sellado entre los sistemas.



Figura 3.3: Brida de 2"

La forma de entrada de los desechos se determinó que se pusiera en la parte superior aprovechando la presión atmosférica que evita que salga la materia que ya se encuentra dentro del contenedor.

El otro extremo del tubo del sistema de entrada se encuentra a 0.1 [m] de altura respecto a la base del contenedor con lo que se permite el libre acceso de la materia orgánica, haciendo que el contenedor se llene hasta la altura deseada y la materia orgánica se mantenga el mayor tiempo posible dentro del contenedor.

3.1.3. Sistema de salida

Para el sistema de salida de la biomasa se propone utilizar conexiones y válvulas de PVC de las siguientes medidas:

- Para la salida superior del efluente conexiones y válvulas de $\frac{3}{4}$.
- Para el sistema de drenado conexiones y válvulas de $\frac{1}{2}$.

3.1.4. Sistema de trituración

Para el sistema de trituración se propone utilizar un molino comercial No. 22 (marca Rotter) el cual se instala en una base junto al contenedor para su fácil manejo. El molino de la figura 3.4 está fabricado de hierro con un acabado de estaño. Incluye una cuchilla de repuesto y se puede montar en cualquier superficie.



Figura 3.4: Molino Rotter No. 22

En la figura 3.5 se aprecian las dimensiones aproximadas de la base para el molino, la cual está fabricada con ángulo de 1" x 1/8" de espesor. Tiene una altura de 0.7 [m] y una base de 0.4 [m]. Además, cuenta con un soporte para una cubeta a 0.35 [m] de altura para colocar un recipiente para los desechos triturados. En la parte superior tiene una base de lámina de acero inoxidable para fijar el molino.

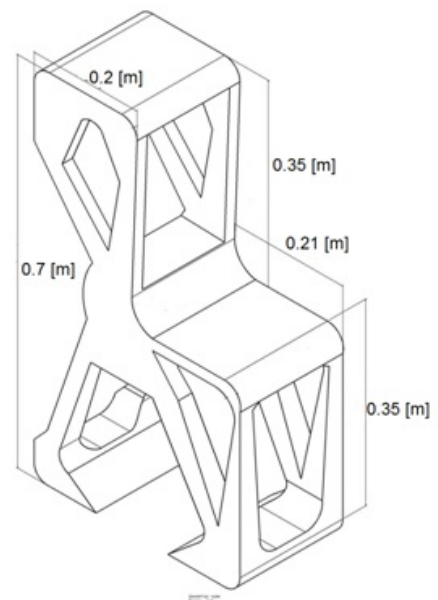


Figura 3.5: Base del molino

3.1.5. Sistema de almacenamiento de biogás

El gasómetro está fabricado en fibra de vidrio y pintado de color blanco. El domo flotante tiene un diámetro de 0.56 [m], mientras que su contra parte tiene un diámetro de 0.59 [m]. Cada uno tiene una altura de 0.9 [m], y entre los dos se tiene correderas para subir o bajar el domo dependiendo del gas almacenado. La longitud máxima que puede alcanzar es de 1.5 [m] de altura. Con ello se tiene un volumen aproximado de 0.41 [m³].

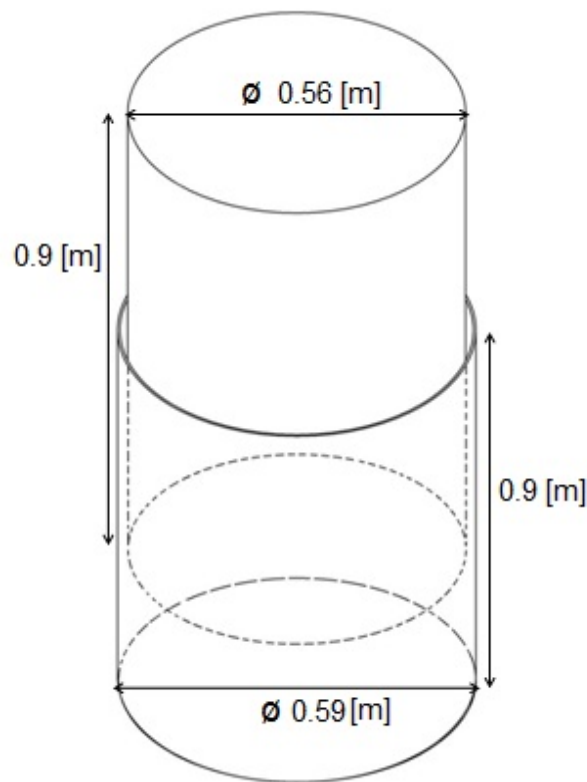


Figura 3.6: Gasómetro con domo flotante

Dentro del gasómetro de fibra de vidrio se coloca un gasómetro flexible de manera que funcione como un fuelle (figura 3.7) el cual se infla con el biogás y se desinfla aplicando una presión en la parte superior del gasómetro, siendo protegido en todo momento por el gasómetro de fibra de vidrio.

El gasómetro flexible está fabricado en PVC flexible, Está pegado y sellado con calor en las orillas para evitar posibles fugas y las bases son de madera bañadas con resina.

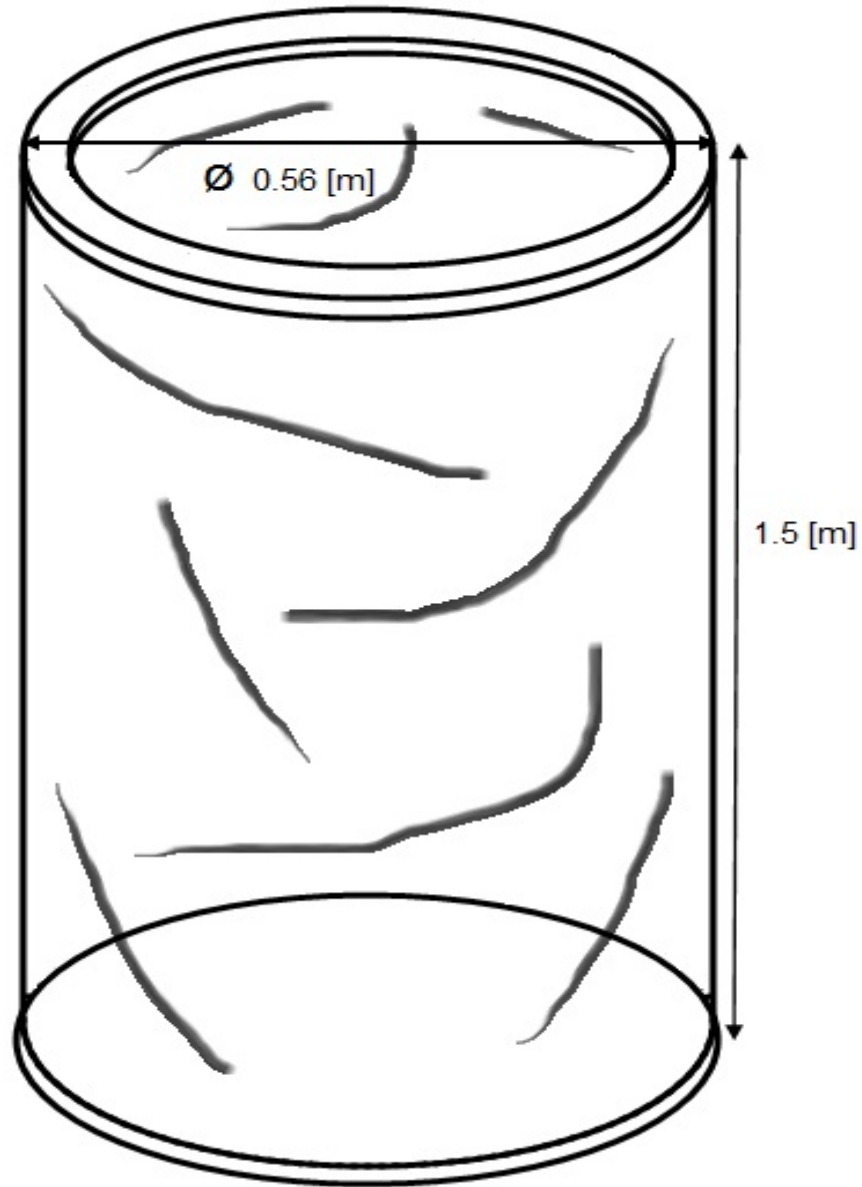


Figura 3.7: Gasómetro flexible

3.1.6. Sistema de movimiento de biomasa

Las dimensiones del sistema de movimiento de biomasa se aprecian en la figura 3.8. El sistema tiene tres láminas de 0.57 [m] de diámetro, con 101 perforaciones en ella de 1/2" de diámetro y un orificio circular en el centro de 2" de diámetro. Las tres laminas se encuentran a una distancia de 0.3 [m] entre ellas. El sistema está fabricado con lámina de calibre 16 y barras de acero inoxidable de 1/2" de diámetro.

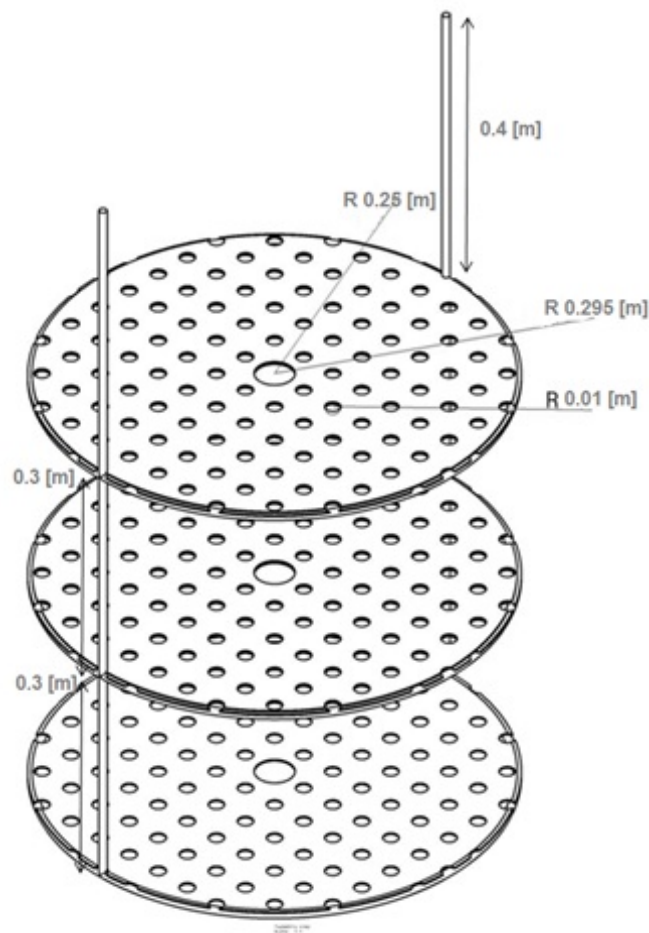


Figura 3.8: Dimensiones del sistema de movimiento de biomasa

El diseño del biodigestor hace que todas las piezas que lo componen sean de fácil ensamble. Este factor, a su vez, hace que sean fáciles de manipular o incluso, si llegara a fallar alguna pieza, la reparación o el cambio de la pieza sea fácil de conseguir y cambiar por el usuario.

3.2. Descripción detallada

Considerando las especificaciones de diseño, parámetros y pruebas experimentales realizadas, se presenta a continuación la memoria de cálculo de los sistemas:

3.2.1. Densidad del efluente

Para determinar una densidad aproximada del efluente, se hace un estudio con diversas muestras ya que la densidad varía dependiendo de los desechos que se utilicen, pero como se observará posteriormente, el fluido está compuesto entre un 60 % y 75 % de agua. La densidad puede obtenerse de forma indirecta midiendo la masa y el volumen por separado, para posteriormente calcular la densidad total. Para este caso, se utiliza un valor promedio de diversas muestras tomadas del efluente y para obtener un valor de densidad promedio de:

$$\rho_m = 1062.5 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

3.2.2. Volumen y peso máximo

En primer lugar se presentan los cálculos para determinar el volumen y peso máximo de la biomasa que soportará el biodigestor. Para calcular el volumen, se tiene la ecuación (3.1).

$$V_{max} = \pi r^2 h \quad (3.1)$$

De la ecuación 3.1 tenemos, que sustituyendo valores:

$$V_{max} = \pi[(0.3)^2(0.8)]$$

$$V_{max} = 0.22 \text{ [m}^3\text{]}$$

Ahora para determinar el peso máximo, se utiliza la ecuación (3.2):

$$m_{max} = V_{max} \rho_m \quad (3.2)$$

Sustituyendo valores de V_{max} y ρ_m , en la ecuación (3.2), se tiene:

$$m_{max} = (0.22 \text{ [m}^3\text{)})(162.5 \text{ [\frac{Kg}{m}^3\text{)})}$$

$$m_{max} = 233.75 \text{ [Kg]}$$

3.2.3. Presión atmosférica

Para determinar la presión atmosférica en la ciudad de México, se realiza el experimento de “Torricelli”, obteniéndose una altura de 59 [mm de Hg]. Para el cálculo de la presión el valor de la gravedad que se utiliza es de 9.81 [m/s^2] y la densidad del mercurio con valor de $\rho_{Hg} = 13600 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$.

Con lo anterior y utilizando la ecuación (3.3), se tiene que la presión atmosférica en la Ciudad de México es:

$$P_{atm} = \rho_{Hg} g h \quad (3.3)$$

Considerando que:

$$\rho_{Hg} = 13600 \text{ [\frac{Kg}{m}^3\text{]}$$

$$g = 9.81 \text{ [\frac{m}{s}^2\text{]}$$

Sustituyendo valores, se tiene:

$$P_{atm} = (13600 \text{ [\frac{Kg}{m}^3\text{)})(9.81 \text{ [\frac{m}{s}^2\text{)})(0.59 \text{ [m]})}$$

$$P_{atm} = 78715.44 \text{ [Pa]}$$

3.2.4. Diferentes presiones dentro del contenedor

Considerando diferentes escenarios, se determinan las distintas presiones en las que puede trabajar el biodigestor. Para el caso en el que el contenedor se encuentra completamente vacío, como se aprecia en la figura 3.9, se tiene que P_1 es igual a la presión atmosférica, por lo que:

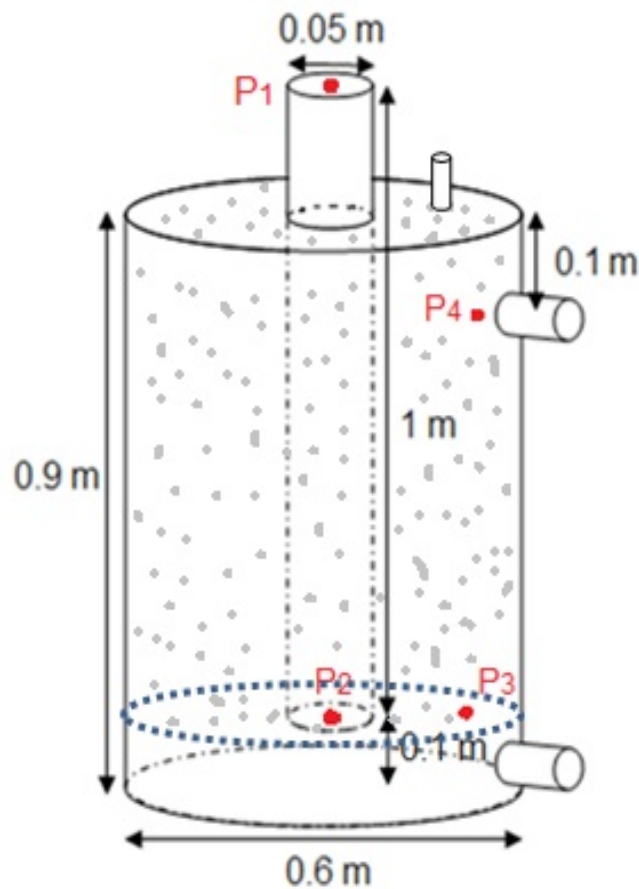


Figura 3.9: Contenedor vacío

$$P_1 = P_{atm} \quad (3.4)$$

Puesto que los efectos gravitatorios de los gases son despreciables, ya que el cálculo de la presión a diferentes alturas (Δh) para los gases no varía significativamente, se puede considerar que:

$$P_1 = P_2 = P_{atm} \quad (3.5)$$

$$P_4 \approx 0 \quad (3.6)$$

Para el caso cuando el contenedor se empieza a llenar, las ecuaciones (3.5) y (3.6) se mantienen hasta que el fluido alcanza los 0.1 [m] de altura. En el punto P_3 se cumple la ecuación:

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_{atm} \quad (3.7)$$

Para el punto P_4 la presión del gas siempre será aproximadamente cero, a menos que se cierre la válvula y el gas empiece a ejercer presión. Posteriormente cuando el fluido rebasa los 0.1 [m] de altura, la presión en el punto P_3 empieza a incrementarse poco a poco. El diseño propuesto permite agregar materia hasta una altura de 0.8 [m]. Esto permite que los desechos permanezcan dentro del contenedor el mayor tiempo posible y se tiene que la presión máxima ejercida por la biomasa en P_3 es:

$$P_3 = P_4 + (\rho \cdot g \cdot h) \quad (3.8)$$

Considerando que $P_4 = 0$ y sustituyendo valores en la ecuación (3.8), se tiene:

$$P_3 = 0 \text{ [Pa]} + [(1062.5 \text{ } \frac{Kg}{m^3})](9.81 \text{ } \frac{m}{s^2})(0.8 \text{ [m]})$$

$$P_3 = 8338.5 \text{ [Pa]}$$

La presión máxima que debe existir en la parte superior del contenedor (punto P_4) en un instante antes de que la biomasa empiece a subir por el sistema de entrada (figura 3.10), se determina de la siguiente manera:

Puesto que la ecuación (3.5) se mantiene para todo instante, la única manera de que la biomasa comience a subir por el sistema de entrada, es que la presión dentro del contenedor supere el valor de la presión atmosférica, ahora, tomando en cuenta el valor máximo de la

presión en P_3 y considerando la ecuación (3.9), se despeja la presión P_4 , se sustituyen valores y se tiene:

$$P_2 = P_4 + P_3 \quad (3.9)$$

$$P_4 = P_2 - P_3$$

$$P_4 = 78715.44 \text{ [Pa]} - 8338.5 \text{ [Pa]}$$

$$P_4 = 70376.94 \text{ [Pa]}$$

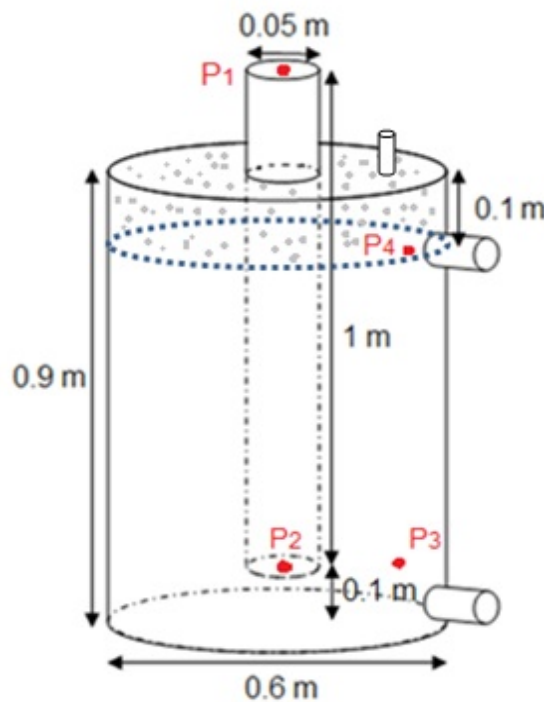


Figura 3.10: Contenedor lleno

La presión P_4 obtenida, es la presión máxima que puede ejercer el gas dentro del contenedor. Este valor no debe ser superado para evitar fugas de biomasa por el sistema de entrada.

3.2.5. Tiempo de vaciado del tanque

Ahora se debe determinar el tiempo de vaciado del tanque por el sistema de drenado (ver figura 3.11) el cual es de diámetro 1.5" y tiene una entrada de tipo reentrante [6] ($K_L = 0.8$). Para este caso, se utiliza la ecuación de energía para flujo unidimensional incompresible estacionario, pero en términos de cargas como se muestra en la ecuación (3.10).

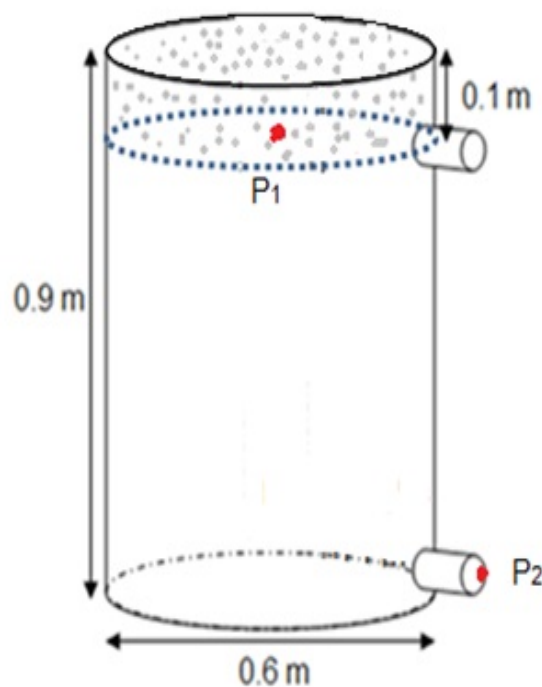


Figura 3.11: Tiempo de drenado del contenedor

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{(V_1)^2}{2g} + h_{Bomba} = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{(V_2)^2}{2g} + Z_2 + H_{turbina} + h_L \quad (3.10)$$

De donde:

h_{Bomba} : es la carga de bomba útil entregada al fluido.

$h_{turbina}$: es la carga de turbina extraída del fluido.

h_L : es la pérdida de carga irreversible entre los puntos 1 y 2.

V_1 y V_2 : son las velocidades promedio en los puntos 1 y 2 respectivamente.

a_1 y a_2 : son los factores de corrección de energía cinética en los puntos 1 y 2.

Para este cálculo del tiempo de drenado, se deben plantear algunas consideraciones sobre los diferentes parámetros, esto, para simplificar la ecuación y poder resolverla.

Consideraciones:

- El flujo es uniforme e incompresible.
- El efecto del factor de corrección de la energía cinética es despreciable, $a = 1$.
- No existe el valor de carga de la turbina y de la bomba.
- Se tiene también el nivel de referencia en la línea central del orificio ($Z_2 = 0$).
- Se toma la dirección positiva de z .
- Tomando en cuenta que el fluido en los dos puntos está abierto a la atmósfera, se tiene que $P_1 = P_2 = P_{atm}$.
- Además que la velocidad del fluido en la superficie libre es muy baja ($V_1 \approx 0$).

Tomando el punto 1 en la superficie libre del tanque, y el punto 2 a la salida del orificio.

La ecuación de energía para un volumen de control que se genera entre estos dos puntos (en términos de cargas) se simplifica a la ecuación (3.11):

$$Z_1 = \alpha_2 \frac{(V_2)^2}{2g} + h_L \quad (3.11)$$

Para la pérdida de carga irreversible h_L en términos del coeficiente de pérdidas K_L se utiliza la siguiente ecuación:

$$h_L = K_L \frac{(V_2)^2}{2g} \quad (3.12)$$

Dónde:

V_2 : es la velocidad promedio en la tubería que contiene el accesorio.

Sustituyendo la ecuación (3.12) en (3.11) y despejando, se tiene:

$$Z_1 = \alpha_2 \frac{(V_2)^2}{2g} + K_L \frac{(V_2)^2}{2g}$$

$$2gZ_1 = (V_2)^2(\alpha_2 + K_L)$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2gZ_1}{\alpha_2 + K_L}} \quad (3.13)$$

Donde:

$$Z_1 = 0.8 \text{ [m]}$$

$$\alpha_2 = 1$$

Recordando que el gasto volumétrico se puede calcular mediante la ecuación (3.14):

$$\dot{V} = A_{\text{orificio}} V_2 \quad (3.14)$$

Sustituyendo la ecuación (3.13) en (3.14), se tiene:

$$\dot{V} = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \left(\sqrt{\frac{2gZ}{1 + K_L}}\right)$$

$$dV = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \left(\sqrt{\frac{2gZ}{1 + K_L}}\right) dt \quad (3.15)$$

Para mantener el principio de conservación de energía, se tiene para el tanque la siguiente ecuación:

$$dV = A_{tanque} - dZ = -\left(\frac{\pi(D_{tanque})^2}{4}\right) dZ \quad (3.16)$$

Igualando las ecuaciones (3.15) y (3.16) y despejando, se tiene:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)\left(\sqrt{\frac{2gZ}{1+K_L}}\right)dt &= -\left(\frac{\pi(D_{tanque})^2}{4}\right) dZ \\ dt &= -\frac{(D_{tanque})^2}{D^2}\sqrt{\frac{1+K_L}{2gZ}} dZ \\ dt &= -\frac{(D_{tanque})^2}{D^2}\sqrt{\frac{1+K_L}{2g}}Z^{-\frac{1}{2}} dZ \end{aligned} \quad (3.17)$$

Integrando y resolviendo la ecuación (3.17) con rango de $t = 0$ hasta $t = t_{final}$ y para $Z = Z_1$ hasta $Z = 0$.

$$\int_{t=0}^{t_{final}} dt = -\frac{(D_{tanque})^2}{D^2}\sqrt{\frac{1+K_L}{2g}} \int_{Z=Z_1}^{Z=0} Z^{-\frac{1}{2}} dZ$$

$$t_{final} = \frac{(D_{tanque})^2}{D^2}\sqrt{\frac{1+K_L}{2g}}(Z_1)^{\frac{1}{2}}$$

$$t_{final} = \frac{(D_{tanque})^2}{D^2}\sqrt{\frac{2Z_1(1+K_L)}{g}}$$

$$t_{final} = \frac{(0.6)^2}{(0.0380)^2}\sqrt{\frac{2(0.8)(1+0.8)}{9.81}}$$

$$t_{final} = 134.77 [s] = 2.23 [min]$$

3.2.6. Forma del sistema superior de salida

La forma del sistema de salida superior se diseño de manera que el sistema garantice la salida del efluente sin dejar escapar biogás; como se puede apreciar en la figura 3.12, la colocación de la tubería permite que el efluente salga hasta la altura deseada, de esta forma toda la materia que se encuentre por encima de la línea punteada se desalojará cuando se abra la válvula y cuando se alcance el equilibrio de alturas el mismo efluente funcionará como un sello hidráulico.

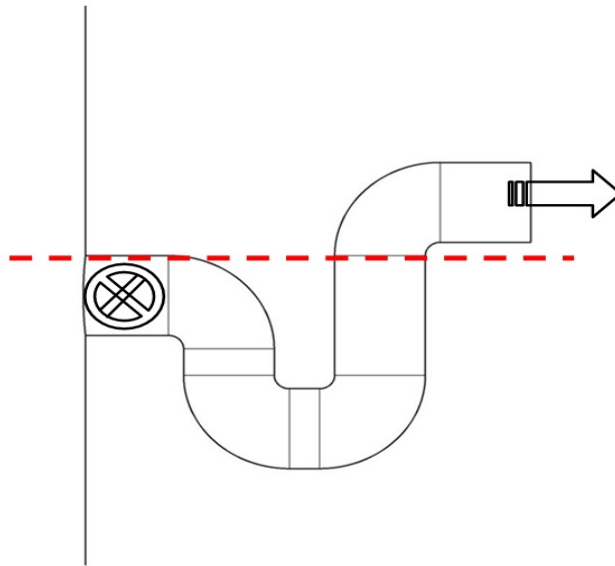


Figura 3.12: Forma del sistema superior de salida

3.2.7. Tiempo en que pasa la mezcla por las rejillas

También se debe determinar el tiempo que tarda en pasar toda la biomasa a través de las rejillas del sistema de movimiento de biomasa (figura 3.13). Para esto, se simplifica la función de movimiento de biomasa a un volumen de control VC menor que ejemplifique el procedimiento como se muestra en la figura 3.14.

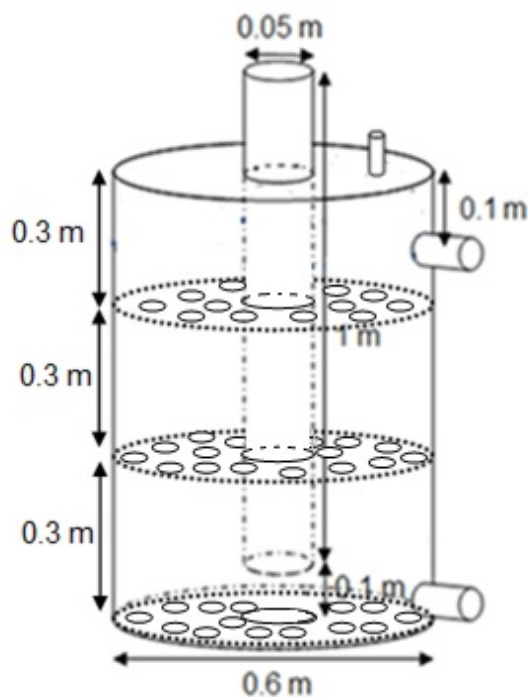


Figura 3.13: Volumen de control completo

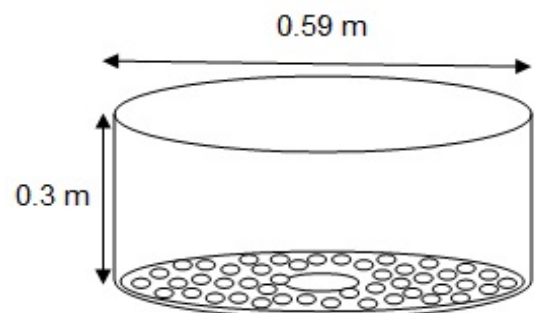


Figura 3.14: Volumen de control reducido

Con el VC reducido, se simplifica el procedimiento y se puede calcular el tiempo de vaciado del contenedor, utilizando la ecuación 3.18 llamada ecuación de Bernoulli y algunas consideraciones para el sistema.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{(V_1)^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{(V_2)^2}{2g} + Z_2 \quad (3.18)$$

- El flujo es uniforme e incompresible.

- El flujo está totalmente desarrollado.
- P_1 y P_2 están expuestos a la misma presión atmosférica.
- Gasto másico de entrada ($\dot{m}_e = 0$)
- $V_1 \approx 0$

$$(V_2)^2 = 2gZ_1$$

$$V_2 = \sqrt{2gZ_1} \quad (3.19)$$

Aplicando la definición de gasto másico \dot{m} :

$$\frac{dm_{VC}}{dt} = \dot{m}_e - \dot{m}_s \quad (3.20)$$

$$\dot{m}_e = 0$$

$$\dot{m}_s = \rho A_0 V \quad (3.21)$$

Dónde:

A_o : es el área del orificio de salida o caída

Sustituyendo la ecuación (3.19) en la ecuación (3.21), se tiene:

$$\dot{m}_s = \rho A_0 \sqrt{2gZ_1} \quad (3.22)$$

Por otro lado, se tiene que la masa dentro del VC está dada por la siguiente ecuación:

$$m_{VC} = \rho V = \rho A_{cont} Z_1 \quad (3.23)$$

Dónde:

ρ : es la densidad el fluido que se ocupa.

A_{cont} : es el área total del tanque, en este caso del VC .

Sustituyendo las ecuaciones (3.21), (3.22) y (3.23), en la ecuación (3.20), se tiene:

$$\frac{d(\rho A_{cont} Z)}{dt} = -\rho A_0 \sqrt{2gZ} \quad (3.24)$$

Simplificando la ecuación (3.24), considerando $Z = Z_1$ y despejando dt , se tiene:

$$-\rho \sqrt{2gZ} \left(\frac{\pi (D_0)^2}{4} \right) = \frac{\rho \frac{\pi (D_{cont})^2}{4}}{dt} dz$$

$$dt = - \frac{(D_{cont})^2}{(D_0)^2} \frac{dz}{\sqrt{2gZ}} \quad (3.25)$$

Integrando y resolviendo la ecuación (3.25) para los siguientes límites: desde $t = 0$ con $Z = Z_1$

hasta $t = t$ con $Z = 0$.

$$\int_{t=0}^{t=t} dt = - \frac{(D_{cont})^2}{(D_0)^2 \sqrt{2g}} \int_{Z=Z_1}^{Z=Z_0} \frac{dZ}{\sqrt{Z}}$$

$$t = - \frac{\sqrt{Z_0} - \sqrt{Z_1}}{\sqrt{\frac{g}{2}}} \left(\frac{D_{cont}}{D_0} \right)^2 \quad (3.26)$$

La ecuación (3.26) representa el tiempo que se tarda el fluido en atravesar la rejilla del sistema de movimiento de biomasa. Ahora bien, los únicos términos que se mantienen fijos son: la altura Z_1 y el diámetro del contenedor D_{cont} y se puede variar el diámetro de las rejillas hasta ajustarlo al tiempo que se necesite, si es el caso.

El área del contenedor es de:

$$A_{cont} = \frac{\pi (0.6)^2}{4} = 0.2827 \text{ [m}^2\text{]}$$

El área de la rejilla según el diseño planteado es:

$$A_{rejilla} = \frac{\pi (0.59)^2}{4} = 0.2734 \text{ [m}^2\text{]}$$

El área del hueco central de la rejilla es:

$$A_{hueco} = \frac{\pi(0.0508)^2}{4} = 0.00202 \text{ [m}^2\text{]}$$

El área de una perforación en la rejilla es:

$$A_{perforacion} = \frac{\pi(0.0127)^2}{4} = 0.0001266 \text{ [m}^2\text{]}$$

El diseño plantea 101 perforaciones, por lo que el área total de perforaciones es:

$$A_{Totaldeperfo} = 101(0.0001266[\text{m}^2]) = 0.0128 \text{ [m}^2\text{]}$$

Ahora bien, el área total que se tiene para que pase el fluido es:

$$A_T = (A_{cont} - A_{rejilla}) + [A_{rejilla} - (A_{hueco} + A_{Totaldeperfo})]$$

$$A_T = (0.2827 \text{ [m}^2\text{]} - 0.2733 \text{ [m}^2\text{]}) + [0.2733 \text{ [m}^2\text{]} - (0.00202 \text{ [m}^2\text{]} + 0.0128 \text{ [m}^2\text{]})]$$

$$A_T = 0.2679 \text{ [m}^2\text{]}$$

Por lo que el diámetro total equivalente es:

$$D_T = \sqrt{\frac{4A_T}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(0.2679)}{\pi}}$$

$$D_T = 0.584 \text{ [m]}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación (3.26) se tiene:

$$t = -\frac{\sqrt{0} - \sqrt{0.3}}{\sqrt{\frac{9.81}{2}}} \left(\frac{0.6}{0.584}\right)^2$$

$$t = 0.26 \text{ [s]}$$

Lo que significa que en este tiempo se vacía el volumen de control, con la única acción que existe en el sistema que es el peso del fluido.

3.2.8. Análisis del sistema de movimiento de biomasa

Para el sistema de movimiento de biomasa se realiza un análisis sobre la pieza tipo coladera, la cual se considera como una viga fija en los extremos con una carga central (figura 3.15), para la cual se calcularán los esfuerzos cortantes (V) y el momento flector (M).

El primer paso es determinar la máxima fuerza que actúa sobre la pieza tipo coladera, que se encuentra a mayor profundidad. Para determinar la fuerza se utiliza el área total A_T que se calculó anteriormente, mas datos del fluido, y la ecuación 3.27.

$$F = \rho \cdot g \cdot h \cdot A_T \quad (3.27)$$

Sustituyendo valores:

$$F = (1062.5 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]) (9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right]) (0.8 \text{ [m]}) (0.2679 \text{ [m}^2\text{]})$$

$$F = 2173.03 \text{ [N]}$$

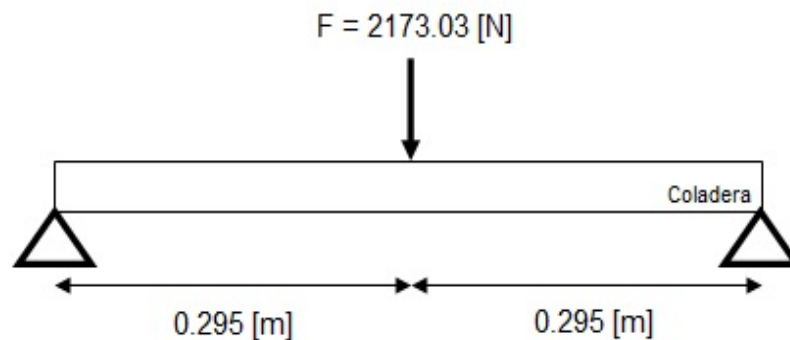


Figura 3.15: Viga fija en los extremos

En la figura 3.16 se plantea el diagrama de cuerpo libre de la viga (pieza tipo coladera).

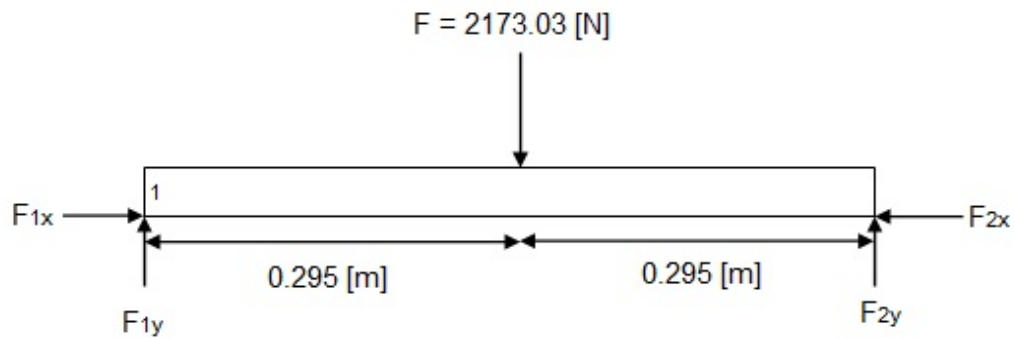


Figura 3.16: Diagrama de cuerpo libre

Calculando las reacciones se tiene:

$$\Sigma F_X = 0 \text{ (No hay fuerza alguna que genere reacciones)}$$

$$\Sigma F_Y = 0 \quad : -2173.03 \text{ [N]} + F_{1y} + F_{2y} = 0 \quad (3.28)$$

$$\Sigma M_1 = 0 \quad : -2173.03(0.295) + F_{2y}(0.59) = 0 \quad (3.29)$$

Despejando de (3.29) a F_{2y} :

$$F_{2y} = \frac{(2173.03 \text{ [N]})(0.295 \text{ [m]})}{0.59 \text{ [m]}} = 1086.515 \text{ [N]}$$

Sustituyendo F_{2y} en (3.28):

$$F_{1y} = 2173.03 \text{ [N]} - 1086.515 \text{ [N]} = 1086.515 \text{ [N]}$$

Calculando las fuerzas cortantes (V) y momentos flectores (M), se tiene:

Para la primera sección de la viga:

$$0 \text{ [m]} < X < 0.295 \text{ [m]}$$

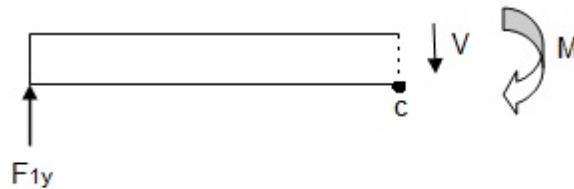


Figura 3.17: Primera sección de la barra

$$\Sigma F_Y = 0 \quad : 1086.51 + V = 0$$

$$V = -1086.51 \text{ [N]}$$

$$\Sigma M_c = 0 \quad : -1086.51(X) + M = 0$$

$$M_c = 1086.5X$$

Para la segunda sección:

$$0.295 \text{ [m]} < X < 0.59 \text{ [m]}$$

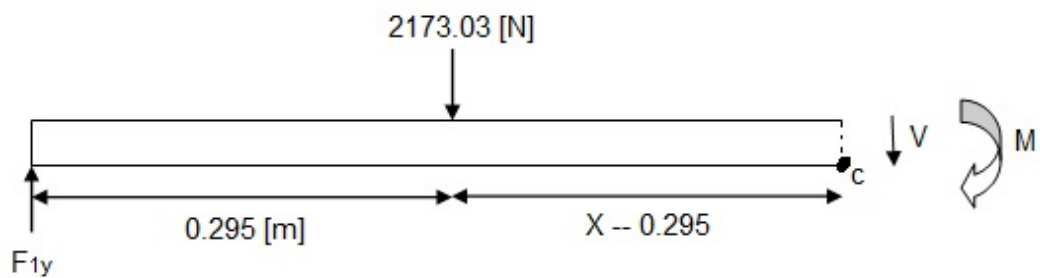


Figura 3.18: Segunda sección de la barra

$$\Sigma F_Y = 0 : 1086.51 - 2173.03 + V = 0$$

$$V = 1086.51 \text{ [N]}$$

$$\Sigma M_c = 0 : -1086.51(X) + 2173.03(X - 0.295) + M = 0$$

$$M_c = 1086.51X + 2173.03(X - 0.295)$$

En la figura 3.19 se presenta la grafica de fuerzas cortantes y momentos de la viga. Se puede apreciar que el mayor momento flector se presenta en el centro de la pieza.

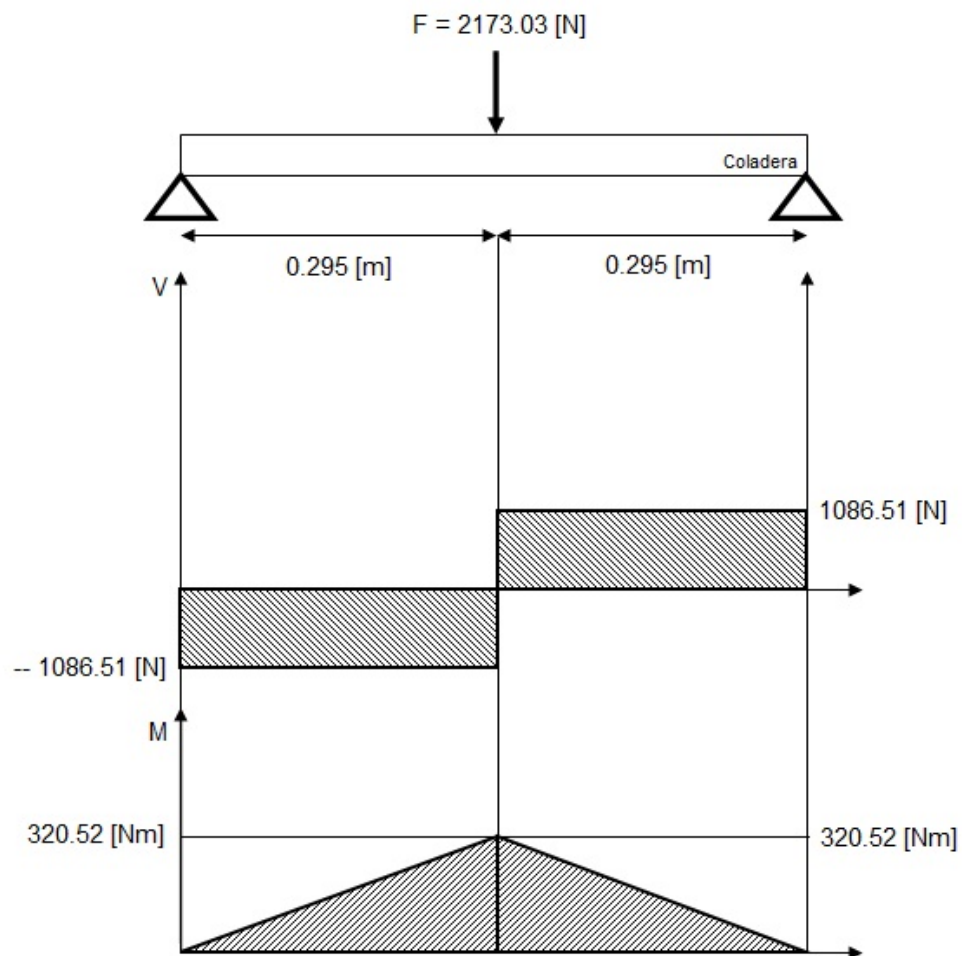


Figura 3.19: Grafica de fuerzas cortantes y momentos flectores

En la figura 3.20 se presenta el análisis por elemento finito que se realizó a la pieza tipo coladera, obteniéndose los resultados de acuerdo a las condiciones a las que va a trabajar la pieza.

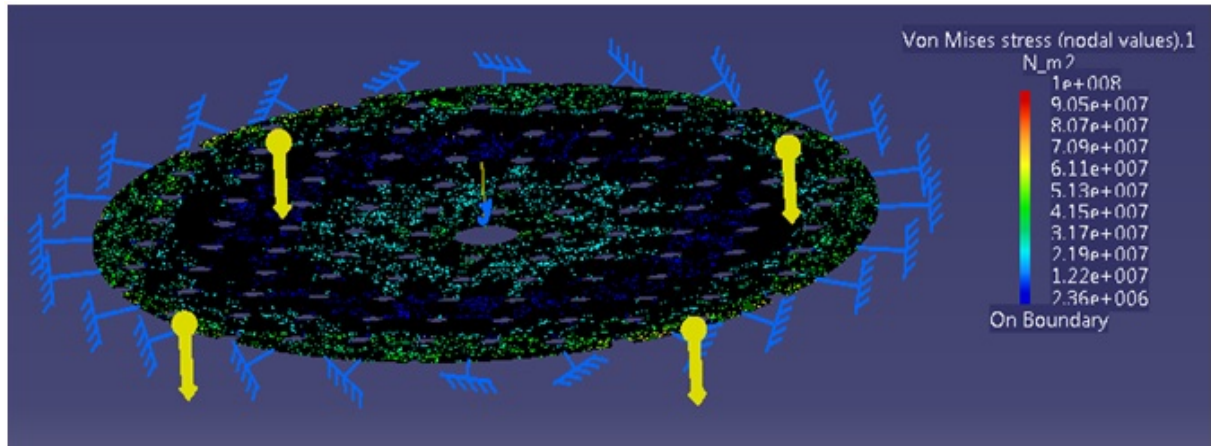


Figura 3.20: Concentración de esfuerzos

El máximo esfuerzo mostrado en los resultados es de 90.5 [MPa] y el esfuerzo mínimo es de 2.36 [MPa]. El valor más sobresaliente en la pieza es el de un esfuerzo de 61.1 [MPa] (color verde-amarillo) el cual se compara con el esfuerzo máximo a flexión permitido, que se determina con la ecuación 3.30.

$$\sigma = \frac{MC}{I} \quad (3.30)$$

Dónde:

M : es el momento de flexión aplicado en la sección en cuestión.

c : es la distancia al eje neutro.

I : es el segundo momento de inercia. Para figuras de tipo paralelogramo se calcula con la ecuación 3.31:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (3.31)$$

Tomando $b = 0.05 \text{ [m]}$ y $h = 0.00152 \text{ [m]}$ (calibre 16), tal como se muestra en la figura 3.21, simulando una viga, se tiene:

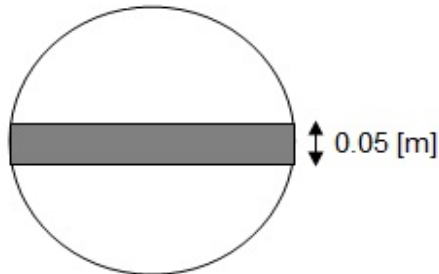


Figura 3.21: Sección de la pieza seleccionada

$$I = \frac{(0.05 \text{ [m]})(0.00152 \text{ [m]})^3}{12}$$

$$I = 1.46 * 10^{-11}$$

Sustituyendo los valores de I , M calculado anteriormente y c en la ecuación (3.30)

$$\sigma = \frac{(320.52 \text{ [Nm]})(\frac{0.00152 \text{ [m]}}{2})}{1.46 * 10^{-11}}$$

$$\sigma = 16647.50 \text{ [Mpa]} \text{ Esfuerzo maximo a la flexion}$$

Con el resultado obtenido teóricamente y comparándolo con el valor obtenido por elemento finito, se observa que está debajo del límite, por lo que es factible su utilización.

En el análisis de elemento finito, también se puede observar el desplazamiento que puede tener la pieza sometida a cargas reales en el proceso, tal como se aprecia en la figura 3.22, en la cual se muestra un máximo desplazamiento en color rojo de 1.98 [mm] en el centro de la pieza y se observa un claro empotramiento en color azul alrededor de la pieza con un desplazamiento de 0.0 [mm] .

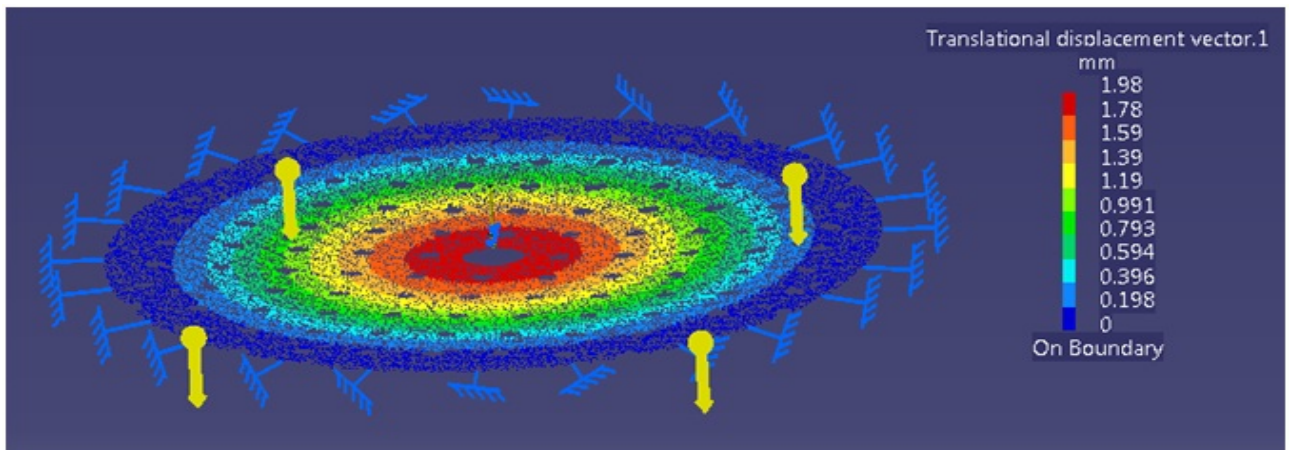


Figura 3.22: Desplazamiento sobre la pieza

Ahora bien, se tienen dos barras que soportan el sistema de movimiento de biomasa, para las cuales se realiza un análisis para determinar si soportarán las cargas a las que son sometidas, para ello se tienen la ecuación 3.32:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \quad (3.32)$$

Dónde:

σ_{max} : es el máximo esfuerzo a tensión que soporta el material.

F : es la fuerza que tensa al material.

A : es el área transversal del material.

El diseño plantea usar una barra o tubo de acero inoxidable, tipo 304, con un límite elástico a la tensión $S_y = 241[MPa]$, de $\frac{1}{2}$ ". Figura 3.23.

Obteniendo las áreas para la barra y el tubo respectivamente se tiene:

$$A_b = \frac{\pi}{4}(0.0127[m])^2$$

$$A_b = 1.26 * 10^{-4}[m^2]$$

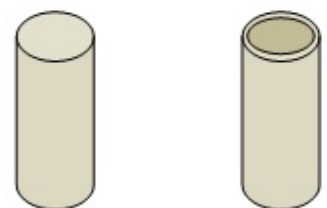


Figura 3.23: Barra y tubo propuestos

Utilizando un tubo de calibre 16, se tiene un área de:

$$A_t = \frac{\pi}{4}(0.0127[m] - 0.00966[m])^2$$

$$A_b = 7.258 * 10^{-6}[m^2]$$

Para determinar el esfuerzo en cada barra o tubo, se utiliza la fuerza que se determinó anteriormente, la cual tiene una magnitud de $F = 1086.515 [N]$. Pero la máxima carga que deberán soportar las barras es la suma de esta fuerza y la que se ejerce para levantar el sistema, la cual se estimara de 250 [N] por barra.

$$\sigma_{bmax} = \frac{1086.515[N] + 250[N]}{1.26 * 10^{-4}[m^2]}$$

$$\sigma_{bmax} = 10.550[MPa]$$

Mientras que para el tubo se tiene:

$$\sigma_{tmax} = \frac{1086.515[N] + 250[N]}{7.258 * 10^{-6}[m^2]}$$

$$\sigma_{tmax} = 184.135[MPa]$$

Se realiza nuevamente un análisis por elemento finito sobre la barra, para tener una idea más clara del comportamiento del material sometido a tensión. En la figura 3.24 se pueden observar los resultados.

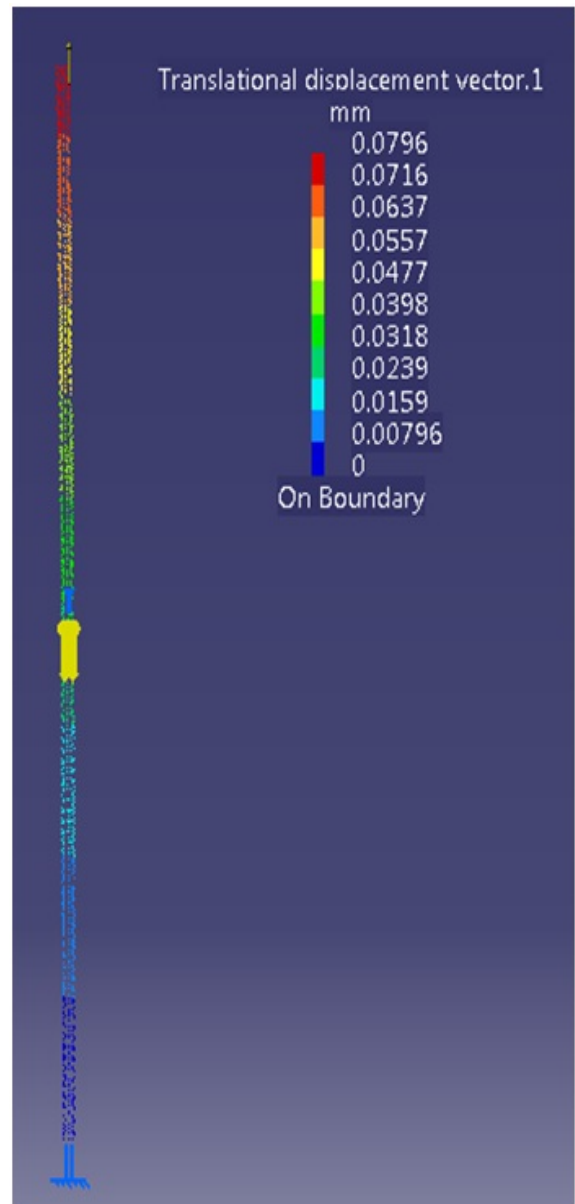
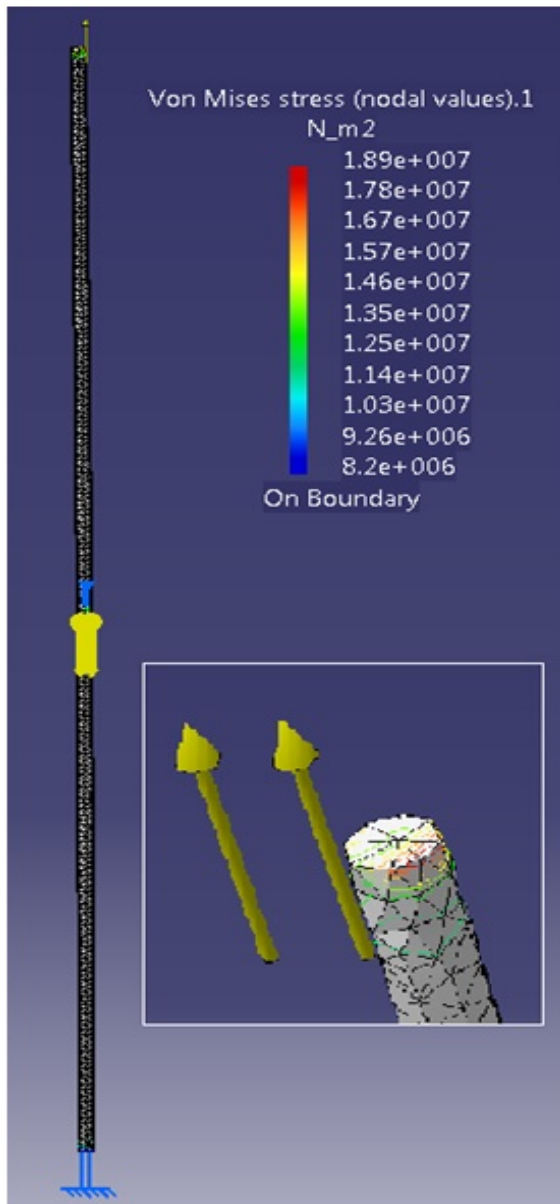


Figura 3.24: Esfuerzos en la barra mediante Von Mises

Figura 3.25: Análisis de desplazamientos en la barra

También se obtiene un análisis del desplazamiento de la barra marcada de igual manera con color rojo el máximo desplazamiento y con azul el mínimo. En la parte de resultados de la figura 3.25 se muestra el máximo desplazamiento de 0.0796 [mm] que comparado con la longitud total de la barra es despreciable.

Para el caso del tubo se realizan los mismos análisis con las mismas cargas y restricciones que las de la barra, y los resultados del análisis se pueden apreciar en la figura 3.26, en la cual el máximo esfuerzo a tensión, en color rojo, provocado por la fuerza aplicada en la parte superior del tubo es de 38.3 [MPa] , y en recuadro de la misma figura se puede apreciar cuál es la sección del tubo en donde se presenta dicho esfuerzo. Cabe señalar que en ningún otro punto del tubo se presento otro esfuerzo de color rojo.

El resultado de los desplazamientos en el tubo se pueden observar en la figura 3.27, la cual muestra en la parte de resultados que el máximo desplazamiento es de 0.126 [mm] , que ocurre en la parte superior del tubo marcado en color rojo. El desplazamiento máximo nuevamente es despreciable.

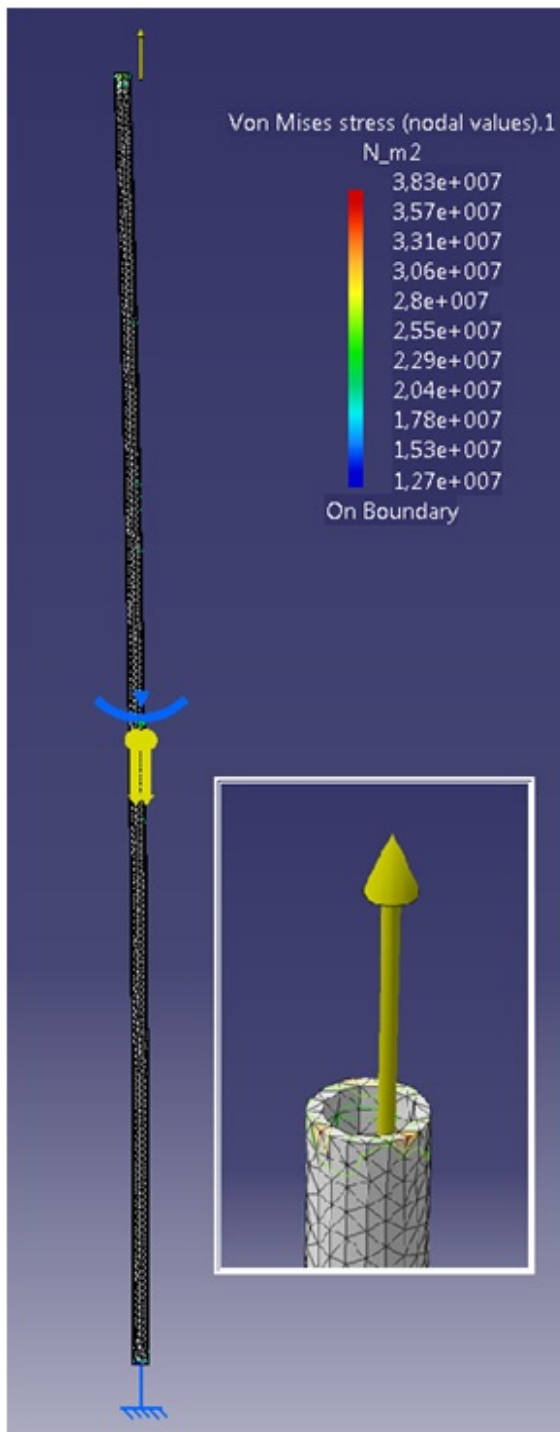


Figura 3.26: Análisis del tubo a tensión

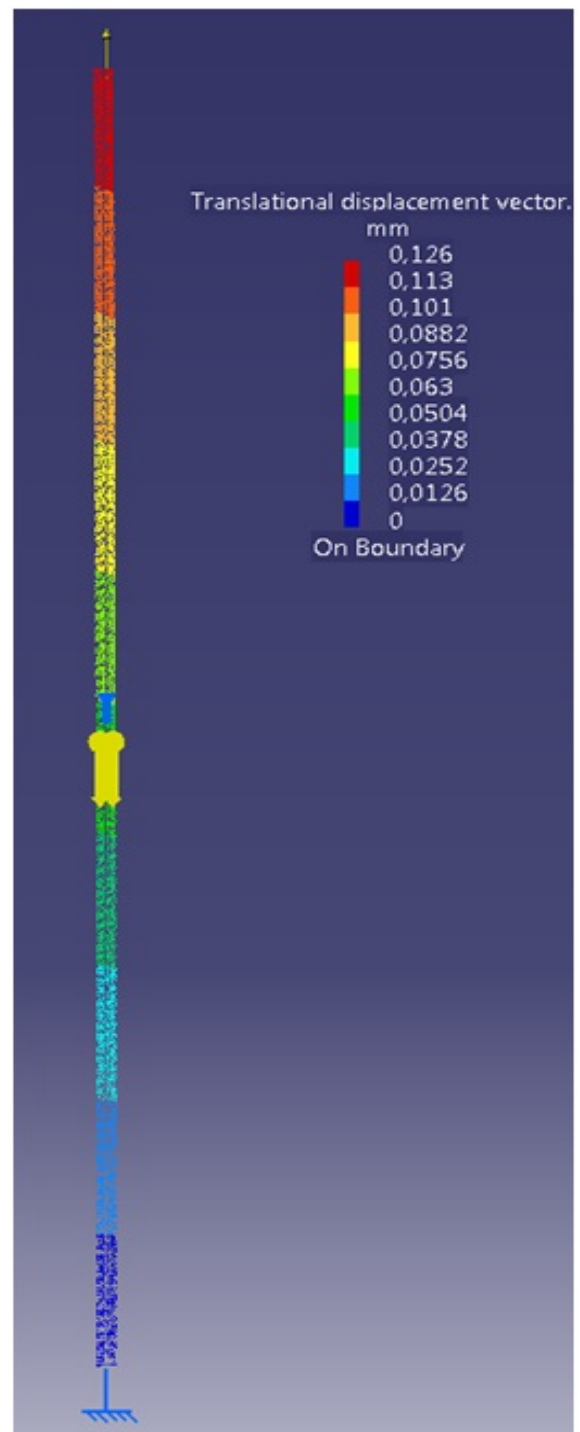


Figura 3.27: Desplazamientos del tubo

Con todo lo anterior, se determina que la propuesta de diseño de los componentes son buenas alternativas para la utilización en el sistema de movimiento de biomasa.

Se plantea una idea de un soporte funcional con las dimensiones requeridas para el molino. Se comienza con un sólido, como el de la figura 3.28 y se realiza la optimización con un software. Éste arroja un resultado ideal, aunque cabe señalar que el modelo que muestra la figura 3.29, es la optimización de la estructura. Este proceso solo es parte de la lluvia de ideas y posteriormente se podrá fabricar.

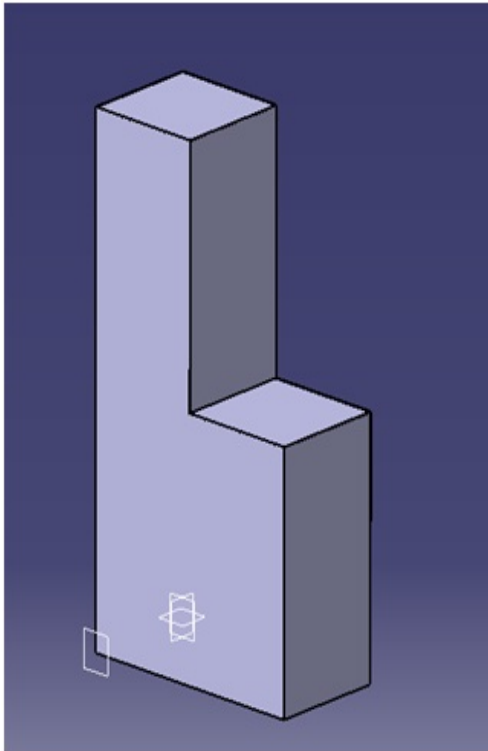


Figura 3.28: Sólido del soporte

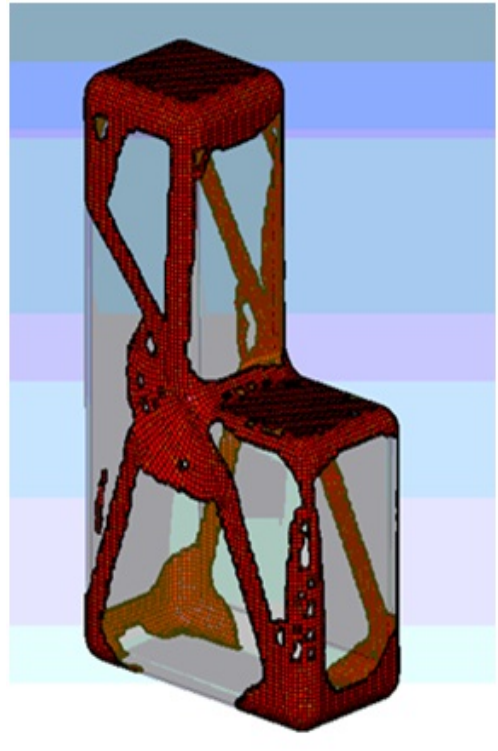


Figura 3.29: Soporte optimizado

Para el modelo optimizado, se realiza un análisis por elemento finito. Sobre la nueva pieza optimizada convertida ahora en un sólido se le agregan las cargas y restricciones a las que la pieza puede ser sometido, tales como el peso del molino, la gravedad, el peso de los desecho, etc. Se puede observar en la figura 3.30 los resultados del análisis.

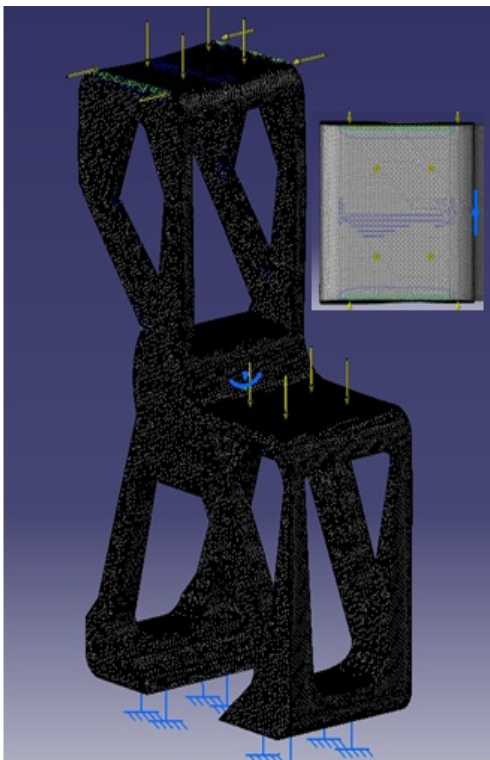


Figura 3.30: Esfuerzos en el soporte

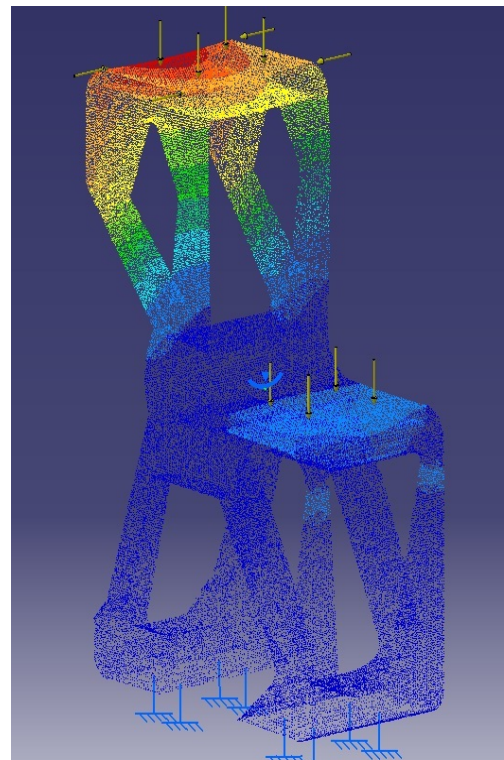


Figura 3.31: Desplazamientos del soporte

Así mismo, en la figura 3.31 se muestran los desplazamientos que se tiene en el soporte, donde claramente se puede apreciar en color rojo el desplazamiento máximo, que es la parte donde se coloca el molino y el operario ejerce la fuerza para la trituración.

Capítulo 4

RESULTADOS

“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa”

Mahatma Gandhi

En este proyecto es necesario estar siempre consciente de lo que realiza ya que es un proyecto ingenieril que abarca diferentes áreas de investigación. Como se planteó desde un principio, se tomaron ciertos requerimientos para el diseño de este prototipo y uno de ellos es el costo del prototipo. Para ello en las páginas siguientes se realiza un análisis de costos con el que se obtendrá el precio total del prototipo y así ver si se cumplió este requerimiento.

4.1. Costos de fabricación

Esta sección pretende dar una idea clara del costo total del prototipo. Así mismo, se pueden observar con mayor claridad las piezas necesarias para la fabricación del mismo.

Para tener un mejor análisis de costos, se presenta en las siguientes tablas el costo de cada sistema con sus características principales.

Los sistemas se dividieron en:

- Trituración
- Almacenador de biogás
- Movimiento de biomasa
- Almacenamiento (con entrada y salidas)

Nombre de la pieza	Cantidad	Marca	Especificaciones	Precio unitario	Importe
Molino para carne No. 22	1	Rotter	<ul style="list-style-type: none"> • Manual • Cuerpo de hierro • Acabado estañado • Incluye cuchilla de repuesto • Se puede montar en cualquier superficie 	\$ 290.00	\$ 290.00
Total del sistema					\$ 290.00

Figura 4.1: Costo del sistema de trituración

Nombre de la pieza	Cantidad	Marca	Especificaciones	Precio unitario	Importe
Resina PP	2	Poliformas Plásticas	<ul style="list-style-type: none"> • 70 * 60 • Contenido 4 [Kg] 	\$ 217.58	\$ 435.16
Catalizador	1	Poliformas Plásticas	<ul style="list-style-type: none"> • K- 2000 • Contenido ¼ [L] 	\$ 28.00	\$ 28.00
Fibra de vidrio		Poliformas Plásticas		\$ 60.00**	
Correderas	2	Handy-Home	<ul style="list-style-type: none"> • Correderas para escritorio de extensión de 60 [cm] 	\$ 66.00	\$ 132.00
Bolsa de PVC flexible	2		<ul style="list-style-type: none"> • Bolsa de PVC flexible • calibre 22 	\$ 40.00	\$ 80.00
Manómetro	1			\$ 30.00	\$ 30.00
Base de madera	2		<ul style="list-style-type: none"> • Madera de ½" con diámetro de 56 [cm] 	\$ 60.00	\$ 120.00
Barniz	1	Comex	<ul style="list-style-type: none"> • ¼ de litro, transparente 	\$38.50	\$ 38.50
Total del sistema					\$ 862.66

Figura 4.2: Costo del sistema de almacenamiento de biogás

Nombre de la pieza	Cantidad	Marca	Especificaciones	Precio unitario	Importe
Barra de acero inoxidable	1		Barra de ½" x 6 [m]	\$ 350.00	\$ 350.00
Lamina de acero inoxidable	½		Calibre 16	\$ 750.00	\$ 750.00
Trabajo de soldadura				\$ 200.00	\$ 200.00
Total del sistema					\$ 1300.00

Figura 4.3: Costo del sistema de movimiento de biomasa

Nombre de la pieza	Cantidad	Marca	Especificaciones	Precio unitario	Importe
Tambo	1	Plastienvases	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de 220L • Polietileno de alto peso molecular • Tipo "Elanillado" abierto • Color negro • Dos tapones color natural 	\$ 330.00	\$ 330.00
Brida (contra)	3	BAYUSA	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricado en PVC rígido • Excelente durabilidad • Resistente a ambientes agresivos. Medidas: <ul style="list-style-type: none"> • 2" • ½" • ¾" 	\$181.00 \$ 16.50 \$ 55.50	\$ 253.00
Tubo de PVC Hidráulico	1	REXOLIT	<ul style="list-style-type: none"> • Tubería de PVC cédula-40. • La temperatura máxima de operación de 60°C. Medidas: 2" * 1.10 [m]	\$ 27.00*	\$ 40.00
Conectores de PVC hidráulico	3	SPEARS	<ul style="list-style-type: none"> • Tubería de PVC cédula-40. 	\$ 17.50	\$ 52.5.00
Tapón de PVC	1	LASCO	<ul style="list-style-type: none"> • Tubería de PVC cédula-40. 	\$ 29.00	\$ 29.00
Válvula de esfera de bronce	1	IUSA		\$ 55.50	\$ 55.50
Niple de bronce macho	2			\$ 11.00	\$ 22.00
Sellos hidráulicos	3	Pro-empaques		\$ 44.33	\$ 133.00
manómetro	1				
Llaves de paso de PVC	2		<ul style="list-style-type: none"> • Tubería de PVC cédula-40. 	\$ 60.00	\$ 120.00
Total del sistema					\$ 1035.00

Figura 4.4: Costo del sistema de almacenamiento (con entrada y salidas)

El costo del prototipo final es de \$ 3487.66 pesos, por lo que se puede considerar costeable por ser solo un prototipo y se puede esperar reducir el costo un cierto porcentaje al comprar por mayoría cada una de las piezas del prototipo.

Otro requerimiento que se tomó y es considerado como el primordial para el diseño del prototipo es el de producción de biogás, este requerimiento es verdaderamente el alma de todo el diseño, por lo que a continuación se presentan los resultados finales del prototipo terminado.

4.2. Logros alcanzados

Se realizó el diseño y fabricación de todos los componentes, los cuales se fabrican con máquinas y herramientas convencionales; además de ensamblarse el prototipo final, esto se logró considerando los requerimientos y especificaciones de diseño planteados por usuarios potenciales. Así se definieron los siguientes resultados:

- El prototipo final tiene un volumen aproximado de $0.67 \text{ [m}^3\text{]}$, ocupando un espacio máximo de $1 \text{ [m}^3\text{]}$ incluyendo el sistema de trituración. Con esto se logra cumplir uno de los requerimientos que especifica que las dimensiones del sistema completo no serán mayores a un volumen de $2 \text{ [m}^3\text{]}$.
- El diseño del gasómetro que se fabricó satisface y cumple con el requerimiento de la producción de biogás deseada ya que solo se planteaba obtener $0.400 \text{ [m}^3\text{]}$ y el gasómetro final tiene capacidad para $0.424 \text{ [m}^3\text{]}$.
- Se logró que el accionamiento de la máquina fuese de forma completamente manual así como de fácil manejo e instalación.

De la búsqueda de información bibliográfica y comercial, se tuvieron las bases para el diseño del prototipo final presentado en este trabajo combinando los tipos de biodigestores con los modelos encontrados para fines muy específicos de diseño.

Con el modelo de prototipo desarrollado y presentado en este trabajo se tiene una producción de biogás de $0.424 \text{ [m}^3\text{]}$. Considerando que cada metro cúbico de biogás contiene el equivalente de 6 [kWh] de energía calorífica y que al convertir el biogás en electricidad, en un generador eléctrico alimentado por biogás, tenemos alrededor de 2 [kWh] de energía eléctrica utilizable. El resto se convierte en calor, que también se puede utilizar para aplicaciones de calefacción. 2 [kWh] es la energía suficiente para alimentar una bombilla de 100 [W] durante 20 horas o un secador de pelo 2000 [W] durante aproximadamente 1 hora.

El biogás producido se emplea normalmente para cocinar. El poder calorífico del biogás es menor al del butano o propano. Esto implica que se tardara más tiempo en cocer los alimentos que cuando se hace con gas natural o LP. El consumo de una cocina domestica normal se puede estimar entre $0.13 \text{ y } 0.17 \text{ [m}^3\text{/h]}$. En el cuadro 4.1 se presentan algunas de las equivalencias que se tienen para algunos combustibles[6].

Equivalencias energéticas del biogás	
<i>1000 litros (1 [m³]) de biogás equivale a:</i>	
Madera	1.3 [Kg]
Alcohol	1.1 [L]
Gasolina	0.8 [L]
Gas natural	0.76 [m ³]
Carbón	1.5 [Kg]
Gas oil	0.65 [L]
Bosta seca	1.2 [Kg]
Electricidad	2.2 [KWh]

Cuadro 4.1: Equivalencias energéticas del biogás

Con las equivalencias del cuadro 4.1, se tiene que la producción de biogás del diseño presentado, alcanza para alimentar un generador eléctrico alimentado por biogás y alimentar una bombilla de 100 [W] durante 8.5 horas, o bien para cocinar cerca de 3 horas.

4.3. Encuesta

Finalmente se realizó una encuesta a 140 personas de diferentes sectores de la población mexicana, en la que se plantea el uso de este prototipo, tomando en cuenta si la población está de acuerdo en cambiar sus hábitos de separación de basura, mediante una pequeña inversión inicial y obteniendo un beneficio económico a corto plazo, y un beneficio al medio ambiente a largo plazo para las futuras generaciones. Los resultados que arrojan son los siguientes:

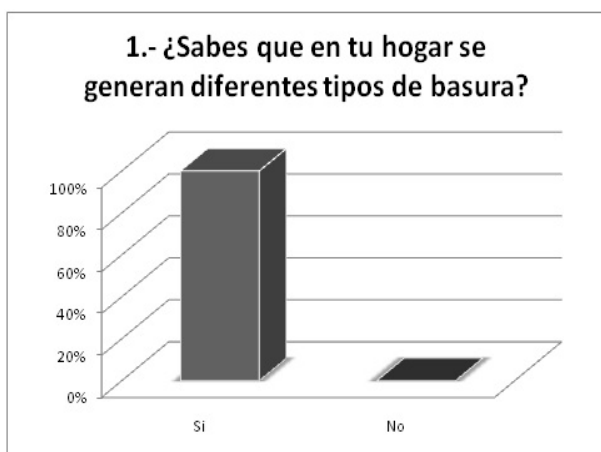


Figura 4.5: Pregunta 1

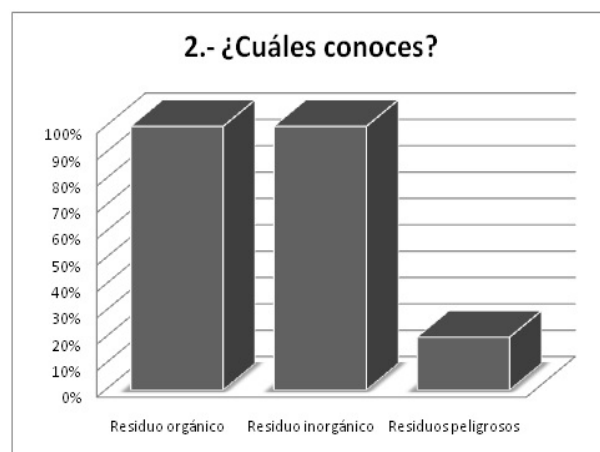


Figura 4.6: Pregunta 2

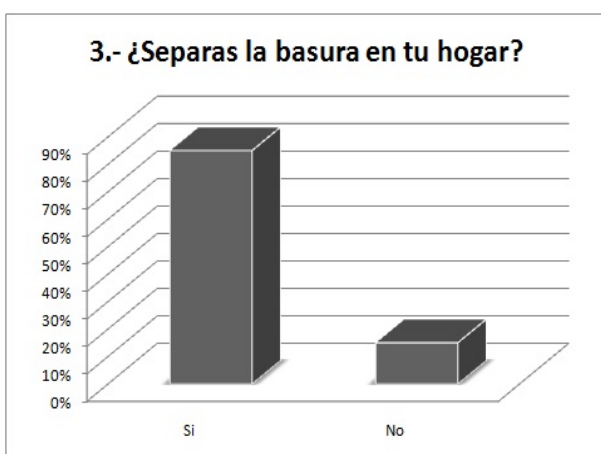


Figura 4.7: Pregunta 3



Figura 4.8: Pregunta 4

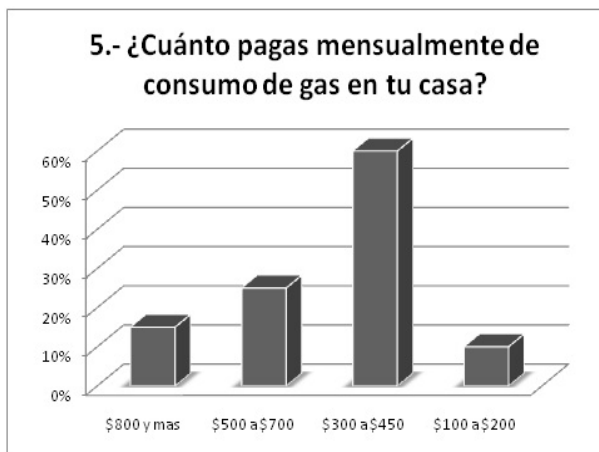


Figura 4.9: Pregunta 5

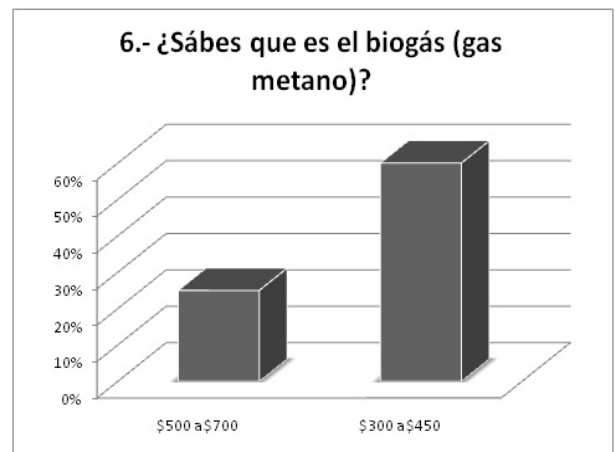


Figura 4.10: Pregunta 6

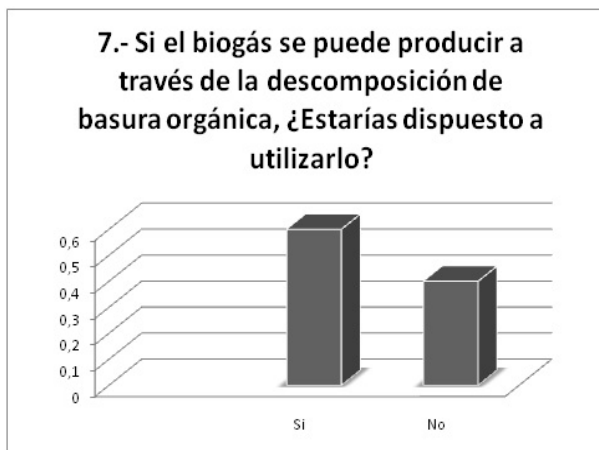


Figura 4.11: Pregunta 7

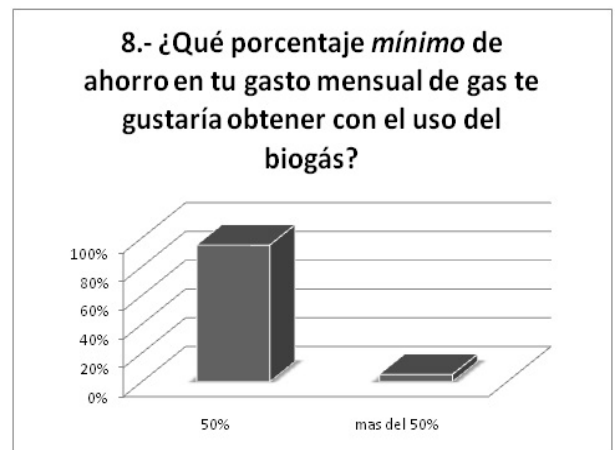


Figura 4.12: Pregunta 8

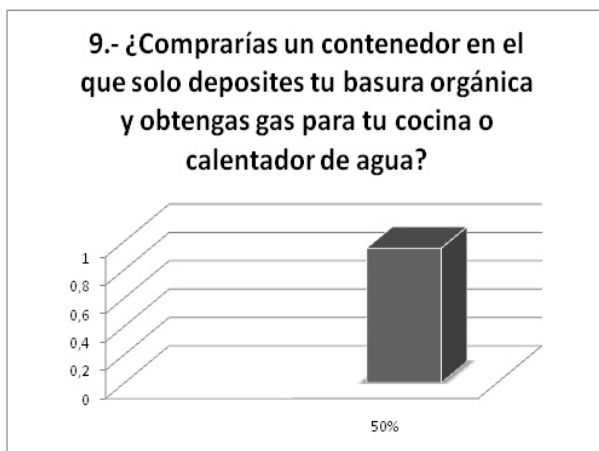


Figura 4.13: Pregunta 9

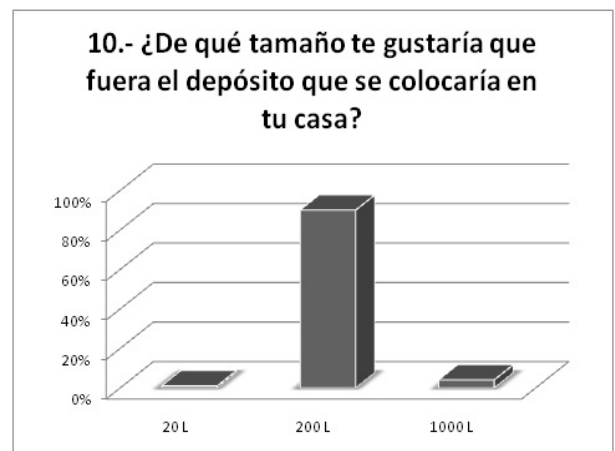


Figura 4.14: Pregunta 10

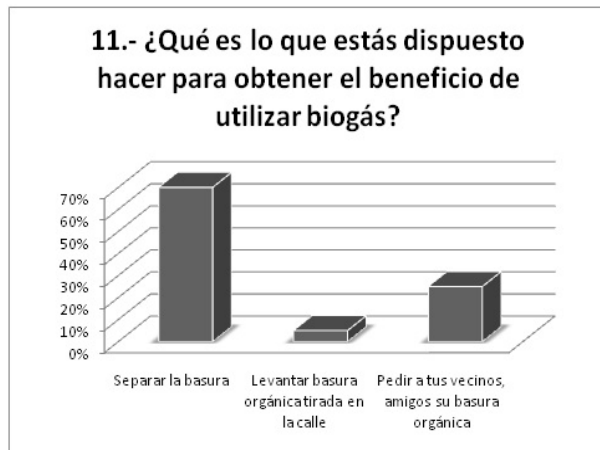


Figura 4.15: Pregunta 11

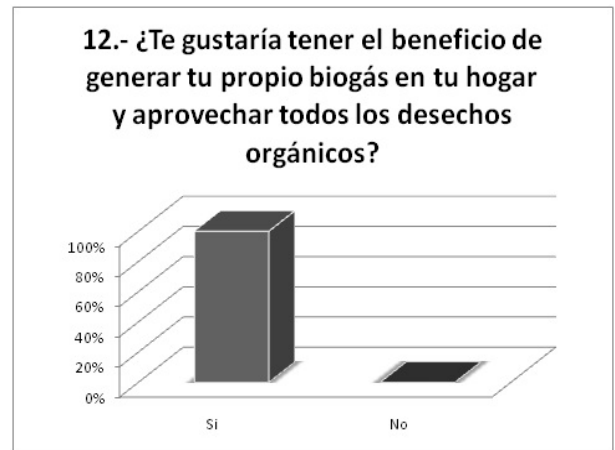


Figura 4.16: Pregunta 12

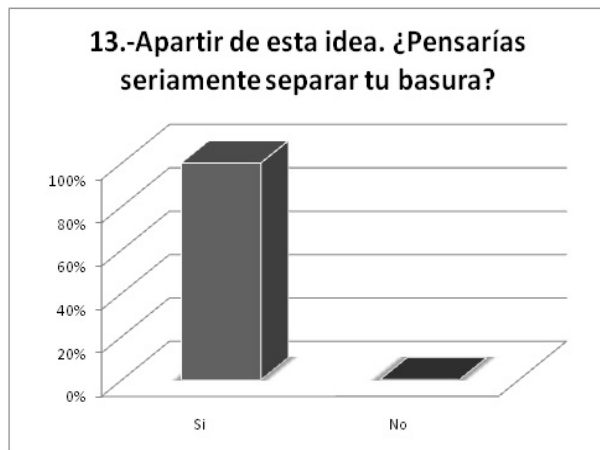


Figura 4.17: Pregunta 13

Se puede observar que la mayoría de las personas entrevistadas, están completamente de acuerdo en realizar un cambio en la rutina de sus vidas para poder obtener este beneficio, y en dado caso que se genere éste producto, la mayoría de las personas están dispuestas a hacer un sacrificio económico para obtener dicho producto.

Capítulo 5

CONCLUSIÓN

Con los resultados obtenidos se puede concluir que el diseño del biodigestor es una buena opción para la ayuda económica y ecológica de los seres vivos, ya que el prototipo está diseñado para ser empleado en diferentes áreas y regiones, haciendo algunas modificaciones en materiales y equipo, ya que el biogás puede servir para:

- Vender a empresas de distribución domiciliaria
- Generar vapor en una caldera de gas, y electricidad con una turbina (24 horas al día, 365 días al año)
- Generar agua caliente para precalentar el agua de las calderas
- Generar electricidad en motores de gas o turbinas de gas.
- Permite registrar el proyecto como MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio- Protocolo de Kioto), no solo por la sustitución de energía fósil, sino por evitar la liberación de metano a la atmósfera, que es uno de los principales gases de efecto invernadero. Con este registro los Ingenios pueden vender sobre el mercado internacional, y en particular, Europeo.

- Ofrece la posibilidad de obtener dos subproductos de alto valor agregado: un biofertilizante líquido y un sedimento sólido o fertilizante orgánico para disponer directamente para su uso agronómico.

Además de esto, se obtiene un sinfín de beneficios tanto ecológicos como económicos. Es por ello que se concluye que este proyecto es un bien común para todos.

Anexo 1

Parámetros ingenieriles que podrían causar conflicto

- Encontrar las características ingenieriles contradictorias. Puede reflejarse en una matriz de contradicciones.
- Encontrar el parámetro o característica técnica que necesita ser cambiado.
- Encontrar el parámetro que tiene un efecto secundario indeseable.
- Establecer el conflicto técnico estándar.

Estos son los 39 parámetros ingenieriles que podrían causar conflictos entre sí.

1. **Peso de un objeto en movimiento.**
2. **Peso de un objeto.**
3. **Longitud de un objeto en movimiento.**
4. **Longitud de un objeto estacionario.**
5. **Área de un objeto en movimiento.**
6. **Área de un objeto estacionario.**
7. **Volumen de un objeto en movimiento.**

8. Volumen de un objeto estacionario.
9. Velocidad.
10. Fuerza.
11. Tensión, presión.
12. Forma.
13. Estabilidad del objeto.
14. Resistencia.
15. Durabilidad de un objeto en movimiento.
16. Durabilidad de un objeto estacionario.
17. Temperatura.
18. Brillo.
19. Energía consumida por un objeto en movimiento.
20. Energía consumida por un objeto estacionario.
21. Potencia.
22. Desperdicio de energía.
23. Desperdicio de sustancia.
24. Pérdida de información.
25. Pérdida de tiempo.

26. **Cantidad de la sustancia.**
27. **Confiabilidad.**
28. **Exactitud de la medición.**
29. **Exactitud de la manufactura.**
30. **Factores de daño actuando en el objeto desde afuera.**
31. **Daños como efectos laterales desarrollados por el objeto.**
32. **Posibilidad de fabricación.**
33. **Conveniencia de uso.**
34. **Posibilidad de reparación.**
35. **Adaptabilidad.**
36. **Complejidad del dispositivo.**
37. **Complejidad de control.**
38. **Nivel de automatización.**
39. **Productividad.**

Principios inventivos o de resolución Estos son los 40 principios inventivos del TRIZ.

1. Segmentación

- Dividir un objeto en partes independientes.
- Hacer un objeto divisible en secciones.

- Incrementar el grado de segmentación del objeto.

2. Extracción

- Separar o remover partes o propiedades que perturban en un objeto.

3. Calidad local

- Transición desde una estructura homogénea de un objeto a una estructura heterogénea (o fuera de su ambiente).

4. Asimetría

- Reemplazar una forma simétrica con otra asimétrica.
- Si un objeto es asimétrico, incrementar el grado de asimetría.

5. Combinación

- Combinar en espacios homogéneos u objetos destinados para operaciones contiguas.
- Combinar en tiempos homogéneos o en operaciones contiguas.

6. Universalidad

- Haga que el objeto efectúe múltiples funciones. De esta manera se elimina la necesidad de algún otro.

7. Anidamiento

- Contenga el objeto dentro de otro, el cual a su vez, es colocado dentro de un tercero.

8. Contrapeso

- Compense el peso de un objeto juntándolo con otro objeto que tiene una función de levante.
- Compense el peso de un objeto al interactuar en un ambiente que le proporcione fuerzas aerodinámicas o hidrodinámicas.

9. **Acción contraria previa**

- Previamente efectúe una acción contraria.
- Si el objeto es o estará bajo tensión, proporcione una anti tensión en avance.

10. **Acción previa**

- Efectúe todas o alguna de las acciones requeridas en avance.
- Arregle los objetos tal que puedan ir en acción desde un tiempo o posición conveniente.

11. **Suavizar en avance**

- Compense la relativamente baja confiabilidad de un objeto tomando contramedidas en avance.

12. **Equi-potencialidad**

- Cambie las condiciones de trabajo tal que el objeto no necesite ser elevado o bajar.

13. **Inversión**

- Implemente una acción opuesta a la especificada por el problema.
- Haga movable una parte de un objeto inmóvil, o haga movable el ambiente externo inmóvil.

- Voltee el objeto.

14. **Esferoidicidad**

- Reemplace las partes lineales o planas por otras curvas. Reemplace las formas cúbicas por esféricas.
- Use rodillos o esferas aún en forma de espiral.
- Reemplace el movimiento lineal con movimiento rotatorio. Utilice una fuerza centrífuga.

15. **Dinamicidad**

- Haga un objeto o su ambiente automáticamente ajustado para un desempeño óptimo en cada estadio de la operación.
- Divida un objeto en elementos cambiando la posición relativa uno de otro.
- Si un objeto es inamovible, hágalo movible o intercambiable.

16. **Acción parcial o de sobre cobertura**

- Si es difícil obtener 100 de un efecto deseado, alcance algo más o menos para simplificar el problema.

17. **Moviendo a una nueva dimensión**

- Remueva problemas moviendo el objeto en forma lineal o bidimensional.
- Use un ensamble de objetos en capas múltiples en vez de una sola capa.
- Incline un objeto o gírelo a algún lado.

18. **Vibración mecánica**

- Establezca un objeto en oscilación.
- Si la oscilación existe, incremente su frecuencia, aún a nivel ultra sonido.
- Use la frecuencia de resonancia.
- En vez de vibraciones mecánicas, use vibradores piezoeléctricos.
- Use vibraciones ultrasónicas en combinación con un campo de oscilaciones electromagnéticas.

19. **Acción periódica**

- Reemplace una acción continua con una periódica.
- Si una acción es periódica, cambie su frecuencia.
- Agregue pulsos para una acción adicional.

20. **Continuidad de una acción útil**

- Llevar una acción continuamente, sin pausas, para que todas las partes operen a total capacidad.
- Remueva tiempos muertos o intermedios.

21. **Pasar rápido**

- Efectuar operaciones dañinas o riesgosas a muy alta velocidad.

22. **Convertir daño en beneficio**

- Utilizar factores dañinos o efectos ambientales para obtener un efecto positivo.
- Remover un factor dañino por combinarlo con otro factor dañino.

- Incrementar la cantidad de una acción dañina hasta que deje de ser dañina.

23. Retroalimentación

- Introducir retroalimentación.
- Si la retroalimentación existe, invertirla.

24. Intermediación

- Use un objeto intermedio para transferir o llevar adelante una acción.
- Temporalmente conecte un objeto a otro que sea fácil de remover.

25. Autoservicio

- Hacer que el objeto se sirva asimismo y lleve a cabo acciones suplementarias y de reparación.
- Hacer uso de desperdicios o excesos de energía.

26. Copiado

- Usar una copia simple y barata en vez de un objeto complejo, caro, frágil o con inconvenientes para operar.
- Reemplazar un objeto por una copia o imagen, aún a escala.
- Si las copias ópticas visibles han sido ya usadas, reemplácelas por copias infrarrojas o ultravioleta.

27. Objetos baratos y de corta vida por uno caro y durable

- Reemplace un objeto caro por una colección de objetos baratos.

28. Reemplazo de un sistema mecánico

- Reemplace un sistema mecánico por otro sensorial (óptico, acústico u olfatorio).
- Use un campo eléctrico, magnético o electromagnético para interactuar con el objeto.
- Reemplace campos: estacionarios por móviles, fijos por intercambiables, aleatorios por estructurados.
- Usar un campo en conjunto con partículas activadas (por ejemplo ferro-magnéticas).

29. Construcción neumática o hidráulica

- Reemplace partes sólidas de un objeto por gas o líquido. Puede usarse aire o agua.

30. Membranas flexibles o películas delgadas

- Reemplazar construcciones tradicionales por otras de membranas flexibles o películas delgadas.
- Aislar un objeto de su ambiente usando membranas flexibles o películas delgadas.

31. Uso de material poroso

- Hacer un objeto poroso o agregar elementos porosos.
- Si un objeto ya es poroso, rellene algunos poros.

32. Cambio de color

- Cambiar el color de un objeto o de su entorno.
- Cambiar el grado de translucidez de un objeto hacia otro difícil de ver.
- Usar aditivos colorantes para observar objetos o procesos difíciles de ver.

- Si tales dispositivos están ya en uso, emplear trazos luminiscentes.

33. **Homogeneidad**

- Hacer aquellos objetos con los cuales interactúa el objeto principal del mismo material o uno cercano.

34. **Desechar o regenerar partes**

- Después de que ha completado su función, desechar el elemento del objeto.
- Inmediatamente restaurar cualquier parte de un objeto el cual es exhausto.

35. **Transformación de estados físicos y químicos de un objeto**

- Cambiar el estado, densidad, flexibilidad, temperatura.

36. **Transformación de fase**

- Implementar un efecto desarrollado durante la fase de transición de una sustancia. Por ejemplo, durante el cambio de volumen, liberación o absorción de calor.

37. **Expansión térmica**

- Usar un material que se expande o contrae con el calor.
- Usar varios materiales con diferentes coeficientes de expansión de calor.

38. **Use oxidantes fuertes**

- Reemplace aire normal por enriquecido.
- Reemplace aire enriquecido con oxígeno.
- Trate un objeto en aire o en oxígeno con radiación ionizada.

- Use oxígeno ionizado.

39. **Ambiente inerte**

- Reemplace el ambiente normal con otro inerte.
- Lleve el proceso al vacío.

40. **Materiales compuestos**

- Reemplace material homogéneo con otro compuesto.

Bibliografía

- [1] Ing. Gabriel Moncayo Romero. Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás. Editorial Aqualimpia, 2008.
- [2] José A. Guardado Chacón. Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas. Editorial cubosolar, 2007.
- [3] Documento elaborado por miembros de la mesa de biogás. EL SECTOR DEL BIOGÁS AGROINDUSTRIAL EN ESPAÑA, Madrid, 16 de septiembre de 2010
- [4] Website:[http : //emigrantebruce.blogspot.com/2010/07/construccion-del-biodigestor-vaca.html](http://emigrantebruce.blogspot.com/2010/07/construccion-del-biodigestor-vaca.html)
- [5] Website:[http : //www.infojardin.com/foro/showthread.php?t = 183873](http://www.infojardin.com/foro/showthread.php?t=183873)
- [6] Jaime Martí Herrero. Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares. Bolivia 2008
- [7] Yanus A. Cengel, Jhon M. Cimballa. Mecánica de Fluidos. McGraw Hill.
- [8] Website:[http : //www.seco.cpa.state.tx.us/re_iomass-manure.htm](http://www.seco.cpa.state.tx.us/re_iomass-manure.htm)

Índice de figuras

1.1. Proceso de un biodigestor	2
1.2. Modelo de biodigestor chino	5
1.3. Modelo de biodigestor Hindú	6
1.4. Modelo de biodigestor tipo horizontal	7
1.5. Principales orígenes de metano	12
1.6. Planta de Biogás[1], Aprovechamiento de desechos de restaurantes en Hamburgo- Alemania	13
1.7. Bolsa de polietileno [5]	14
1.8. Biodigestor tipo fosa [4]	15
1.9. Biodigestor Industrial[8]	16
2.1. Diagrama de flujo del proceso	20
2.2. Lluvia de ideas	21
2.3. Matriz de contradicciones del método TRIZ	22
2.4. Cilindro con $\frac{3}{4}$ de esfera	35
2.5. Prisma cuadrado	35
2.6. Cilindro con tapa	35
2.7. Cónico	35

2.8. Tanque "A"	36
2.9. Tanque "B"	36
2.10. Salida en "S"	37
2.11. Tubo recto	37
2.12. Tipo Pez	38
2.13. Tipo Reja	38
2.14. Tipo Coladera	38
2.15. Domo Flotante	39
2.16. Membrana elástica	39
2.17. Salida del biogás	40
2.18. Drenado del tanque	40
2.19. Diseño preliminar del prototipo	53
3.1. Dimensiones del biodigestor	55
3.2. Dimensiones del sistema de alimentación	56
3.3. Brida de 2"	57
3.4. Molino Rotter No. 22	58
3.5. Base del molino	58
3.6. Gasómetro con domo flotante	59
3.7. Gasómetro flexible	60
3.8. Dimensiones del sistema de movimiento de biomasa	61
3.9. Contenedor vacío	64
3.10. Contenedor lleno	66
3.11. Tiempo de drenado del contenedor	67

3.12. Forma del sistema superior de salida	71
3.13. Volumen de control completo	72
3.14. Volumen de control reducido	72
3.15. Viga fija en los extremos	76
3.16. Diagrama de cuerpo libre	77
3.17. Primera sección de la barra	78
3.18. Segunda sección de la barra	78
3.19. Grafica de fuerzas cortantes y momentos flectores	79
3.20. Concentración de esfuerzos	80
3.21. Sección de la pieza seleccionada	81
3.22. Desplazamiento sobre la pieza	82
3.23. Barra y tubo propuestos	82
3.24. Esfuerzos en la barra mediante Von Mises	84
3.25. Análisis de desplazamientos en la barra	84
3.26. Análisis del tubo a tensión	86
3.27. Desplazamientos del tubo	86
3.28. Sólido del soporte	87
3.29. Soporte optimizado	87
3.30. Esfuerzos en el soporte	88
3.31. Desplazamientos del soporte	88
4.1. Costo del sistema de trituración	90
4.2. Costo del sistema de almacenamiento de biogás	91
4.3. Costo del sistema de movimiento de biomasa	91

4.4. Costo del sistema de almacenamiento (con entrada y salidas)	92
4.5. Pregunta 1	95
4.6. Pregunta 2	95
4.7. Pregunta 3	95
4.8. Pregunta 4	95
4.9. Pregunta 5	96
4.10. Pregunta 6	96
4.11. Pregunta 7	96
4.12. Pregunta 8	96
4.13. Pregunta 9	96
4.14. Pregunta 10	96
4.15. Pregunta 11	97
4.16. Pregunta 12	97
4.17. Pregunta 13	97

Índice de cuadros

2.1. Jerarquización de requerimientos	19
2.2. Matriz de contradicciones caso I	24
2.3. Matriz de contradicciones caso II	26
2.4. Matriz de contradicciones caso III	28
2.5. Matriz de contradicciones caso IV	31
2.6. Matriz morfológica del sistema de alimentación	34
2.7. Matriz morfológica del sistema de almacenamiento	36
2.8. Matriz morfológica del sistema de salida	37
2.9. Matriz morfológica del sistema de movimiento de biomasa	38
2.10. Matriz morfológica del sistema de almacenamiento de biogás	39
2.11. Matriz morfológica de materiales a usar para el sistema de almacenamiento	42
2.12. Matriz morfológica de materiales a usar en los sistemas de alimentación, salida y drenado	43
2.13. Matriz morfológica de materiales a usar en el sistema de movimiento de biomasa	43
2.14. Matriz morfológica de materiales a usar en el sistema de almacenamiento de biogás	44
2.15. Matriz morfológica de materiales a usar en el sistema de medición de presión	45
2.16. Matriz morfológica de materiales a usar en el soporte del sistema de trituración	45

2.17. Escala Dieter	46
2.18. Matriz de decisión para el sistema de alimentación	47
2.19. Matriz de decisión para el sistema de almacenamiento	47
2.20. Matriz de decisión para el sistema de salida	48
2.21. Matriz de decisión para el sistema de movimiento de biomasa	49
2.22. Matriz de decisión para los subsistemas de alimentación, drenado y salida	50
2.23. Matriz de decisión para el subsistema de almacenamiento	50
2.24. Matriz de decisión para el subsistema de movimiento de biomasa	51
2.25. Matriz de decisión para el subsistema de almacenamiento de biogás	51
2.26. Matriz de decisión para soporte del subsistema de trituración	52
4.1. Equivalencias energéticas del biogás	94