

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Diseño y aplicación de un sistema de filtros para la reducción de vapor de agua en una planta piloto de producción de biogás.

Por:

DAVID LUNA RAMOS

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo del 2008

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Diseño y aplicación de un sistema de filtros para la reducción de vapor de agua en una planta piloto de producción de biogás.

Por:

DAVID LUNA RAMOS

TESIS

Que somete a la Consideración del H. Jurado Examinador como
Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobada por el Comité de Tesis

Presidente del Jurado

Ing. Juan Arredondo Valdés

Asesor principal

Sinodal

Dr. Juan Carlos Zúñiga Enríquez

M.C. Ramiro Luna Montoya

Coordinador de la División de Ingeniería

Dr. Raúl Rodríguez García

Buenvista, Saltillo. Coahuila, México
Mayo de 2008

AGRADECIMIENTO

Primeramente le doy gracias a **DIOS** por brindarme la oportunidad de terminar una etapa mas de mi carrera y así haberme otorgado la gracia de lograr uno de los grandes anhelos de mi vida, por darme los conocimientos necesarios para salir triunfante en toda las adversidades, por estar siempre acompañándome en cualquier momento de mi vida, por haberme dado unos padres tan maravillosos y por el regalo mas preciado que nos ha otorgado a cada uno de los seres humanos que es la vida.

A la Universidad Autónoma Agraria “**Antonio Narro**” por darme la oportunidad de realizar un sueño anhelado y la oportunidad de recibir una buena formación profesional.

Al **Dr. Juan Carlos Zúñiga Enríquez** por el gran apoyo y profesionalismo mostrado en la conducción de este proyecto de investigación, por compartir sus conocimientos y consejos, así como brindarme su amistad y paciencia para sacar adelante este trabajo.

Al **Ing. Juan Arredondo Valdés**, por sus enseñanzas otorgadas en clase y por su colaboración y aportaciones dadas para la culminación de este proyecto de tesis.

Al **MC. Ramiro Luna Montoya**, por contribuir en la realización de mi proyecto de tesis.

Al departamento de **Maquinaria Agrícola**, ya que gracias a sus maestros académicos me brindaron la base y conocimientos necesarios para seguir adelante en toda mis actividades como estudiante.

A mis compañeros **Adrián, Armando, Efrén, Ignacio y Oscar**, a ellos por el apoyo brindado y haber hecho cada instante de mi estancia en la UAAAN momentos gratos e inolvidables a todos ustedes gracias.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a:

Mis padres **Patricio Luna Romero** y **Maria Ramos Vital**, por su gran apoyo y confianza en mí, que con sus esfuerzos y dedicaciones hicieron posible mis estudios, por nunca dejar que me faltara nada, siempre estar al pendiente de mí, por que no les importo nada por tal de cumplirme siempre en lo económico y en lo emotivo. Los quiero, admiro y respeto. DIOS los bendiga.

A mis hermanos **Gregorio, Paula, Margarita**, pero en especial a **Jorge Y Patricio**, gracias por confiar en mí, por todo el cariño y apoyo que me han brindado a ustedes los llevo siempre en mis corazón, gracias le doy a DIOS por darme los mejores hermanos.

A todos mis **cuñados** y **sobrinos**, con infinito agradecimiento sea para ellos mi cariño y admiración.

A la mujer que he conocido "**Maria H. Gutiérrez** ", por todos esos momentos tan maravillosos que me ha dado, le dedico mi éxito y la felicidad, pero sobre todas las cosas mi amor y mi cariño.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Agradecimiento	i
Dedicatoria	ii
Índice de cuadros	v
Índice de tablas	vi
I. INTRODUCCION	01
1.1. Planteamiento del problema.	01
1.2. Objetivos	02
1.2.1. Objetivo general.	02
1.2.2. Objetivo específico.	02
1.3. Hipótesis.	02
II. REVISION DE LITERATURA	
2.1. Definición de biogás.	03
2.1.1. Biogás.	03
2.1.2. Descomposición anaerobia.	03
2.2. Tipos de biodigestores.	05
2.2.1 Definición de biodigestor.	05
2.2.2. Biodigestor tipo hindú.	05
2.2.3. Biodigestor tipo chino.	06
2.3. Alimentación del biodigestor.	07
2.3.1. Factores que influyen en el proceso de producción de biogás.	07
2.4. Características del biogás.	09
2.4.1. Composición química y física.	09
2.4.2. Composición de humedad relativa.	09

2.4.3. Poder calorífico.	10
2.5. Porcentajes de biogás.	11
2.6 Definición de gas.	12
2.7. Mezcla de gases con vapor de agua condensable.	12
2.8. Definición de vapor.	13
2.8.1. Vapor.	13
2.8.2. Vapor de agua.	13
2.9. Presión de la mezcla dentro del biodigestor.	14
2.10. Procesos de separación gas-líquido.	14
2.10.1. Tipos de procesos de separación.	15
2.10.2. Métodos de proceso.	17
2.10.3. Regla de las fases y equilibrio.	17
2.11. Métodos utilizados para la retención de vapor de agua en el biogás. ...	18
2.12. Filtro.	19
2.12.1. Definición de filtro.	19
2.12.2. Filtración.	20
2.12.3. Distintos tipos de mallas para el medio filtrante.	20
2.12.4. El mecanismo de filtración.	20
2.12.5. El objetivo de la filtración.	20
2.13. Tipos de filtros.	21
2.13.1. Los filtros clarificadores.	21
2.13.2. Filtro prensa.	22
2.13.3. Filtro rotativo a vacío.	23
2.13.4. Filtros centrífugos.	23
2.13.5. Funcionamiento del filtro.	25
2.13.6. Los factores principales que afectan a la infiltración.	25
2.13.7. Aplicación de los filtros.	26

2.13.8. Filtros deshidratadores para refrigeración.	27
2.14. Elemento filtrante.	29
2.14.1. Filtrante.	29
2.14.2. Gel de sílice.	29
2.14.3. Principales aplicaciones.	30
2.14.4. Propiedades de la siligel.	31
2.15. Materiales de medición.	31
2.15.1 Hidrotermógrafo.	31
2.15.2. Características técnicas.	31
2.16. Metodología del diseño.	32
2.16.1. Concepto de producto.	32
2.16.2. Ciclo de vida de un producto.	32
2.16.3. Construcción del prototipo.	33
2.16.4. Pruebas.	33
2.16.5. Diseño definitivo del producto.	34

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización geográfica y caracterización del área experimental.	35
3.2. Metodología.	36
3.2.1. Selección del material.	36
3.2.2. Diseño del filtro.	36
3.2.3. Partes de que consta el filtro.	37
3.2.4. Entrada del biogás.	38
3.2.5. Conexiones.	39
3.2.6 Perforaciones al tubo de conducción del biogás.	39
3.2.7. Cuerpo del filtro.	40
3.3. Herramientas y Equipos.	41
3.4. Ensamble del filtro.	41
3.5. Ensamble final del filtro.	45

3.6. Costos	46
3.6.1. Costos de material y equipo.	46
3.6.2. Costos de mano de obra.	47
3.7. Mantenimiento del equipo.	47
IV. RESULTADOS.	48
IV. CONCLUSIONES.	52
V. RECOMENDACIONES.	53
VI. LITERATURA CITADA.	54

INDICE DE CUADROS

Cuadro No. 2.1 Características físicas de la biomasa.	10
Cuadro No. 2.2 Mezcla de gases que forman el biogás.	11
Cuadro No.3.1. Lista de precios del material y equipo utilizado.	46
Cuadro No 3.2. Costos de mano de obra.	47
Cuadro No 3.3. Primeras pruebas realizadas para determinar la eficiencia del filtro.	49
Cuadro No 3.4. Segundas pruebas realizadas para determinar la eficiencia del filtro.	49

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Aplicaciones de la digestión anaerobia.	04
Figura 2.2 Biodigestor modelo hindú.	06
Figura 2.3. Biodigestor modelo chino.	07
Figura 2.4. El tubo de desagüe manual del condensado.	19
Figura 2.5. El tubo de desagüe del condensado del sifón.....	19
Figura 2.6 Cartuchos filtrantes.	22
Figura 2.7 Filtro prensa.	23
Figura 2.8. Filtro de tambor.	23
Figura 2.9. Centrífuga de cesta vertical.	25
Figura 2.10. Filtro deshidratante para refrigeración.	27
Figura 2.10. Filtro separador de líquido.	27
Figura 3.1. Laboratorio de Biogás.	35
Figura 3.2. Diseño del filtro 37	37
Figura 3.3. Vista isométrica de los componentes del filtro 38	38
Figura 3.4. Vista isométrica del componente de entrada del biogás. 38	38
Figura 3.5. Vista isométrica de las reducciones de entrada y salida del filtro. 39	39
Figura 3.6. Vista de las perforaciones al tubo de entrada. 40	40
Figura 3.7. Vista isométrica del depósito del filtro. 40	40
Figura 3.8. Reducciones de entrada y salida de 4 a 1-1/2 plg. 42	42
Figura 3.9. Tubo perforado para la salida del biogás. 42	42
Figura 3.10. Ensamble del tubo de entrada del biogás con las conexiones. 43	43
Figura 3.11. Tubo de 4 plg. con las conexiones hembras. 43	43
Figura 3.12. Ensamble de las salidas. 44	44
Figura 3.13. Gel de sílice en presentación comercial..... 44	44
Figura 3.14. Ensamble final de filtro. 45	45
Figura 3.15. Conexión de mangueras de entrada. 45	45
Figura 3.16 Compresión de biogás. 48	48
Figura 3.17 Hidrotermógrafo. 48	48
Figura 3.18. Flama mas azul. 51	51

I. INTRODUCCION

Campos Avella, J.C. (1999), citado por capraispana (2005) menciona que en los últimos años, las fuentes alternativas de energía han ido adquiriendo una importancia cada vez mayor en México lo cual, básicamente por razones energéticas y ambientales.

Una buena alternativa de energía renovable es el biogás, el cual es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos, y otros factores, en ausencia de aire.

El biogás tiene diversas aplicaciones que son de gran importancia para la agricultura como la generación de flamas para cocinar alimentos, calentar agua, calentar invernaderos, generar electricidad, entre otros.

Al producir el biogás en el biodigestor se genera vapor de agua por la temperatura a la que se somete la mezcla de materia orgánica y agua en el proceso de fermentación. La presencia del vapor de agua en el biogás, ocasiona problemas de encendido, reducción del poder calorífico de la flama, así como la calidad de la misma, ya que favorece la generación de humos. Consecuencia de esto, resulta afectada la vida útil de las tuberías, quemadores y demás equipos.

1.1. Planteamiento del problema.

Uno de los principales problemas que se vienen asociando con la producción de biogás, es la presencia de vapor de agua en el biogás producido, lo cual dificulta la generación de flama constante y con ello disminuye el poder calorífico de la misma.

Hoy en día, los métodos y materiales que se están utilizando para solucionar este problema son costosos y en pocas ocasiones los productores pueden pagar un sistema para la eliminación del vapor de agua.

Ante esta situación es necesario encontrar una alternativa que permita solucionar el problema del vapor de agua contenido en el biogás, para ello se plantean los siguientes objetivos:

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general.

- Fabricar un filtro que permita reducir la cantidad de vapor de agua contenido en el biogás y aumentar el poder calorífico de su flama.

1.2.2. Objetivo específico.

- Reducir la cantidad de vapor de agua que se encuentra en el biogás con el propósito de mejorar el poder calorífico y calidad de la flama.

1.3. Hipótesis.

Es posible reducir el vapor de agua contenido en el biogás mediante el uso de gel de sílice.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Definición de biogás.

2.1.1. Biogás.

El sitio Web wikipedia (2007), cita que el biogás, es un gas que se genera artificialmente, en dispositivos específicos, mediante la acción de unos seres vivos (bacterias metanogénicas), en ausencia de aire, (esto es un ambiente anaeróbico). Cuando la materia orgánica se descompone en ausencia de aire, actúa este tipo de bacteria, generando biogás.

Huilinao, Pérez y Piccoli. (2002), definen como biogás a la mezcla de gases resultantes de la descomposición de la materia orgánica realizada por la acción bacteriana en condiciones anaeróbicas.

El glosario de términos ambientales de EcoPortal.net 1999. dice que es un gas producido en la fermentación de los residuos domiciliarios, en general tienen un alto contenido de metano, es susceptible de ser usado con fines de generación de electricidad o de uso domiciliario.

2.1.2. Descomposición Anaerobia.

De acuerdo al sitio Web monografías (2007), se refiere al proceso anaerobio en el que se efectúa la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular como aceptor de electrones. Tal es el caso, por ejemplo, de los procesos de producción de alcohol, los procesos de desnitrificación y de digestión anaerobia, estos dos últimos empleados en el tratamiento de aguas residuales.

Los procesos de digestión anaerobia ocurren normalmente en la naturaleza, siendo los nichos de estos procesos el fondo de los ríos, los lagos y el mar, las ciénagas y el tracto intestinal de, prácticamente, todos los animales.

El mismo sitio Web monografías (2007), La digestión anaerobia es considerada como una de las fuentes de energía más económicas y de fácil

adquisición para pequeñas comunidades. El biogás obtenido puede ser utilizado para múltiples aplicaciones: cocción de alimentos, iluminación, refrigeración, calefacción ambiental para uso residencial y comercial, calor útil para procesos industriales, echar andar bombas de agua y otras maquinarias agrícolas, motores de combustión interna para energía motriz, y generación de electricidad tal como lo muestra en la figura 2.1.

Entre los factores que determinan el uso de la digestión anaerobia como una alternativa viable que garantiza una fuente de energía renovable y confiable más limpia podemos citar los siguientes:

- Ayuda a mitigar el cambio climático, al prevenir que el metano sea liberado en el aire.

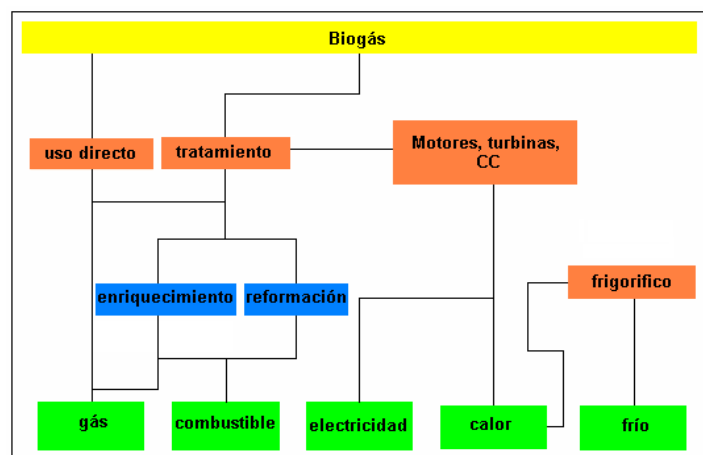


Figura 2.1. Aplicaciones de la digestión anaerobia. Fuente: (monografías 2007).

- Reduce la contaminación del agua, al usar las materias primas que podrían terminar en ríos o lagos.
- La materia prima es de fácil recuperación en ganado estabulado o donde los costos laborales son bajos.
- Es económicamente viable con un abastecimiento regular de estiércol de ganado o de otra materia prima.

- Requiere un área pequeña, en comparación con la disposición de los desechos municipales sólidos.
- Además del combustible, el proceso de fermentación proporciona lodos residuales que pueden usarse como alimento para animales o como abono de excelente calidad y de más rápida producción, contribuyendo de esta manera a la conservación y el sostenimiento de la fertilidad del suelo.

La ventaja principal de los procesos anaerobios con relación a los aerobios se fundamenta en la transformación de la materia orgánica a través de una tecnología de bajo consumo energético, obteniéndose, un balance comparativo de energía y de masa entre ambos procesos.

2.2. Tipos de biodigestores.

2.2.1. Definición de biodigestor.

De acuerdo con el sitio Web wikipedia (2007), un biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar este en biogás y fertilizante. El biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas, o iluminación, y en grandes instalaciones se puede utilizar para alimentar un motor que genere electricidad. El fertilizante, llamado biól, inicialmente se ha considerado un producto secundario, pero actualmente se está considerando de la misma importancia, o mayor, que el biogás ya que provee a las familias campesinas de un fertilizante natural que mejora fuertemente el rendimiento de las cosechas.

2.2.2. Biodigestor tipo Hindú.

El biodigestor tipo hindú consiste en un tanque reactor vertical que tiene instalado una campana flotante recolectora de biogás. De esta forma, la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de alrededor de 300 mm de columna de agua. Con esta campana se logra, además, una

presión constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta. La campana también ayuda al rompimiento de la espuma que se forma en muchos biodigestores. En este biodigestor se alcanzan productividades volumétricas (Pv) de 0.5 a 1m³ de biogás/volumen de reactor por día. Un esquema a de dicha instalación se muestra en la figura 2.2.

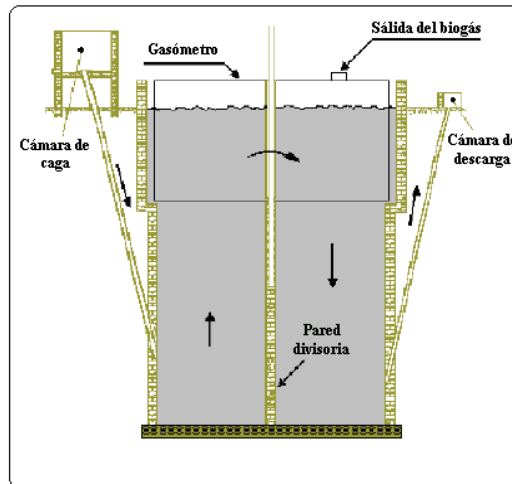


Figura 2.2. Biodigestor modelo hindú. Fuente: (monografias2007).

2.2.3. Biodigestor tipo chino.

El biodigestor tipo chino (Figura 2.3) no tiene campana flotante, sino techo fijo para la recolección del biogás. Son tanques redondos y achatados con el techo y el piso en forma de domo. En este caso, a medida que aumenta la producción de gas, aumenta la presión en el domo o cúpula fija, forzando al líquido en los tubos de entrada y salida a subir, llegando a alcanzar presiones internas de hasta más de 10 mm de columna de agua. Como consecuencia de la variación de presión, la que aumenta al generarse el gas y disminuye al consumirse éste, se reduce la eficiencia en los equipos consumidores. La Pv en los biodigestores chinos está, generalmente, entre 0.15 y 0.2 m³ de biogás/m³ *d. Un esquema de dicha instalación se muestra en la figura 3.

Los tiempos de retención de operación para los biodigestores tipo chino son de 30 a 60 días, requiriéndose para alcanzar la misma eficiencia (máximo

50% de reducción de la materia orgánica) de 1/2 a 1/3 de este tiempo de retención en los biodigestores tipo hindú.

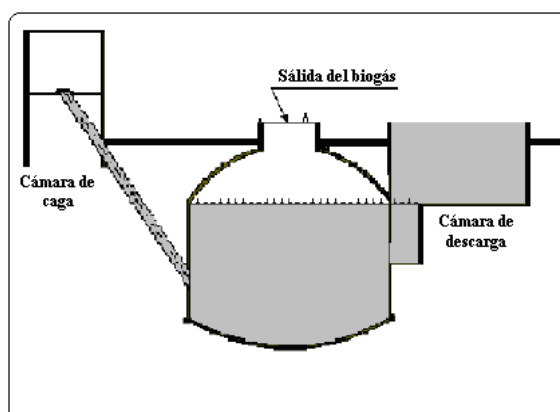


Figura 2.3. Biodigestor modelo chino. Fuente: (monografias2007).

2.3. Alimentación del biodigestor.

El mismo sitio Web producechiapas (2006), menciona que llegando a este punto, ya ponemos a trabajar nuestro biodigestor, para producir biogás. Para ello necesitamos “alimentar” diariamente con una mezcla de agua y estiércol en proporción de 4 a 1.

2.3.1. Factores que influyen en el proceso de producción de biogás.

De acuerdo al sitio Web monografías (2007), admitió que en la fermentación bacteriana intervienen poblaciones microbianas diversas, en la que se distinguen cuatro etapas: hidrólisis, ácido génesis, acetogénesis y metano génesis.

- **Hidrólisis o licuefacción:** en esta etapa los compuestos orgánicos son solubilizados por enzimas excretadas por bacterias hidrolíticas que actúan el exterior celular por lo que se consideran exoenzimas. La hidrólisis es por tanto, la conversión de polímeros en sus respectivos monómeros.
- **Ácido génesis:** en esta etapa los compuestos orgánicos solubles que comprenden los productos de la hidrólisis son convertidos en ácidos orgánicos tales como acético, propiónico y butírico, fundamentalmente.

- Acetogénesis: se le conoce también como acidó génesis intermediaria en la cual los productos correspondientes son convertidos en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.
- Metano génesis: en esta etapa metabólica el CH₄ es producido a partir del ácido acético o de mezclas de H₂ y CO₂, pudiendo formarse también a partir de otros sustratos tales como ácido fórmico y metanol.

En el proceso de conversión anaerobia también intervienen otros factores como por ejemplo: del pH, la temperatura, la disponibilidad de nutrientes, la presencia de sustancias tóxicas, el tiempo de retención, la relación carbono – nitrógeno (C: N) y el nivel de carga (An 1996).

PH.

El rango de pH óptimo es de 6.6 a 7.6. Los ácidos grasos volátiles (AGV) y el acetato tienden a disminuir el pH del sustrato. Si las bacterias metano génicas no alcanzan a convertir rápidamente los AGV a medida que lo producen las bacterias acetogénicas, estos se acumulan y disminuyen el pH en el biodigestor. Sin embargo, el equilibrio CO₂-bicarbonato opone resistencia al cambio de pH.

Temperatura.

Los niveles de reacción química y biológica normalmente aumentan con el incremento de la temperatura. Para los biodigestores de biogás esto es cierto dentro de un rango de temperatura tolerable para diferentes microorganismos.

Las altas temperaturas causan una declinación del metabolismo, debido a la degradación de las enzimas; y esto es crítico para la vida de las células. Los microorganismos tienen un nivel óptimo de crecimiento y metabolismo dentro de un rango de temperatura bien definido, particularmente en los niveles superiores, los cuales dependen de la termoestabilidad de la síntesis de proteínas para cada tipo particular de microorganismo.

Nutrientes.

Además de una fuente de carbono orgánico, los microorganismos requieren de nitrógeno, fósforo y otros factores de crecimiento que tienen efectos complejos. Los niveles de nutrientes deben de estar por encima de la concentración óptima para las metanobacterias, ya que ellas se inhiben severamente por falta de nutrientes. Sin embargo, la deficiencia de nutrientes no debe ser un problema con los alimentos concentrados, pues los alimentos concentrados aseguran en más que suficientes las cantidades de nutrientes.

Toxicidad.

Los compuestos tóxicos incluso en bajas concentraciones, afectan la digestión y disminuyen los niveles de metabolismo. Las bacterias metanogénicas son generalmente las más sensibles, aunque todos los grupos pueden ser afectados.

2.4. Características del biogás.

2.4.1. Composición química y física.

El sitio Web monografías (2007), cita que las características químicas y físicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar, por ejemplo, los desechos animales producen altas cantidades de metano, mientras que la madera producen el denominado “gas pobre”, que es una mezcla rica en monóxido de carbono (CO). Por otro lado, las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar.

2.4.2. Contenido de humedad relativa (HR).

El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del

proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de energía.

2.4.3. Poder calórico.

El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.

Cuadro 2.1 Características físicas de distintos recursos de biomasa.

Recursos de biomasa	Tipo de residuo	Características físicas
Residuos Forestales	Restos de aserrío: corteza aserrín, astillas.	Polvo, sólido, Humedad relativa (HR)>50%
	Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas	Polvo sólido, HR 30-45%
	Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces.	Sólido, HR >55%
Residuos agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales,	Sólido, alto contenido humedad
	Cáscara y polvo de granos secos (arroz, café)	Polvo, HR<25%
	Estiércol	Sólido, alto contenido humedad
	Residuos de cosechas: tallos y hojas, cáscaras, maleza, pastura.	Sólido HR>55%

Residuos industriales	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales	Sólido, humedad moderada
	Residuos de procesamiento de carnes	Sólido, alto contenido humedad
	Aguas de lavado y precocido de carnes y vegetales	Líquido
	Grasas y aceites vegetales	Líquido, grasoso
Residuos urbanos	Aguas negras	Líquido
	Desechos domésticos orgánicos (cáscaras de vegetales)	Sólido, alto contenido humedad
	Basura orgánica (madera)	Sólido, alto contenido humedad

Fuente: (monografias2007).

2.5. Porcentajes de biogás.

Zapata C. A. (Fundación CIPAV, 2007), menciona que los principales componentes del biogás son el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂). Aunque la composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada, su composición aproximada se presenta a continuación. Cuadro 2.2.

Cuadro 2.2 Mezcla de gases que forman el biogás.

GAS	SIMBOLO	%
Metano	CH ₄	55-80
Dióxido de carbono	CO ₂	45-20
Hidrógeno	H ₂	0-10
Oxígeno	O ₂	0.1-1
Nitrógeno	N ₂	0.5-10
Monóxido de carbono	CO	0-0.1
Gases diversos	SH ₂ , NH ₃ , Cn-H _{2n}	1-5
Vapor de agua	H ₂ O	Variable

Fuente: (rincóndelvago.com.2000).

El metano, principal componente del biogás, es el gas que le confiere las características combustibles al mismo. El valor energético del biogás por lo tanto estará determinado por la concentración de metano - alrededor de 20 – 25 MJ/m³, comparado con 33 – 38MJ/m³ para el gas natural (Werner et al 1989).

A pequeña y mediana escala, el biogás ha sido utilizado en la mayor parte de los casos para cocinar en combustión directa en estufas simples. Sin embargo, también puede ser utilizado para iluminación, para calefacción y como reemplazo de la gasolina o el acpm (combustible diesel) en motores de combustión interna.

2.6 Definición de gas.

El sitio Web wikipedia (2008), cita que se denomina gas al estado de agregación de la materia que no tiene forma ni volumen propio. Su principal composición son moléculas no unidas, expandidas y con poca fuerza de atracción, haciendo que no tengan volumen y forma definida, provocando que este se expanda para ocupar todo el volumen del recipiente que la contiene, con respecto a los gases las fuerzas gravitatorias y de atracción entre partículas resultan insignificantes.

2.7. Mezcla de gases con vapor de agua condensable.

Manrique J. A. 2001, en el libro de termodinámica cita que muchas de las mezclas encontradas en aplicaciones de ingeniería involucran un compuesto de vapor, es decir, un gas que existe a una temperatura inferior a su temperatura crítica y que puede condensarse cuando se experimenta un incremento en presión a temperatura constante o un enfriamiento a presión constante.

2.8. Definición de vapor.

2.8.1 Vapor

De acuerdo al sitio Web Encarta 2007, los términos de vapor y gas son intercambiables, aunque en la práctica se emplea la palabra vapor para referirse al de una sustancia que normalmente se encuentra en estado líquido o sólido, como por ejemplo agua, benceno o yodo. Se ha propuesto restringir el uso del término a las sustancias gaseosas que se encuentren por debajo de su punto crítico (la máxima temperatura a la que se puede licuar aplicando una presión suficiente) y hablar de gas por encima de la temperatura crítica, cuando es imposible que la sustancia exista en estado líquido o sólido. Esencialmente, el uso de los términos es arbitrario, porque todas las sustancias gaseosas tienen un comportamiento similar por debajo y por encima del punto crítico.

El sitio Web monografías (2007), nos habla del contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de energía.

2.8.2. Vapor de agua.

El mismo sitio Web wikipedia (2008), establece que el vapor de agua es un gas que se obtiene por evaporación o ebullición del agua líquida o por sublimación del hielo. Es inodoro e incoloro y, a pesar de lo que pueda parecer, las nubes o el vaho blanco de una cacerola o un congelador, vulgarmente llamado "vapor", no son vapor de agua sino el resultado de minúsculas gotas de agua líquida o cristales de hielo.

El mismo. Manrique J. A. (2001), menciona que la presión del vapor de agua en una mezcla aire-vapor, y esta última suele ser muy pequeña, el vapor de agua puede tratarse como un gas ideal. Sin embargo, si la temperatura de la mezcla disminuye, parte del vapor puede condensarse o incluso molificarse durante el enfriamiento. Por otro lado, si la temperatura de la mezcla se incrementa, parte del líquido puede vaporizarse o el sólido sublimarse.

2.9. Presión de la mezcla dentro del biodigestor.

La presión es importante cuando se opera con biodigestores a escala industrial, ya que a mayor profundidad la mezcla ejerce mayor peso sobre las bacterias, de acuerdo al sitio Web wikipedia (2007), define presión como la fuerza por unidad de superficie.

De acuerdo con Mejía A. D. (2005), citado en el sitio Web monografía, menciona que la presión del biodigestor es un factor limitante del proceso anaeróbico. Cuando la presión hidrostática a que están sometidas las bacterias es superior a 4 psi, su velocidad de trabajo se reduce en un 50%. Con el aumento de presión disminuye el rendimiento pero no llega a detenerse el proceso. En digestores sencillos, cuyo ancho es menor que la profundidad y sin más efecto de agitación que el burbujeo del gas producido, no se debe sobrepasar una profundidad de 3.6 metros (141.73 pulgadas). Si esta se sobrepasa es necesario darle agitación mecánica.

2.10. Procesos de separación gas-líquido.

De acuerdo Geankoplis C. J. (1998), menciona que muchos de los materiales de procesos químicos, así como sustancias biológicas, se presentan como mezclas de diferentes componentes en fase gaseosa, líquida o sólida. Para separar o extraer uno o más de los componentes de la mezcla original, dicho componente se debe poner en contacto con otra fase. Las dos fases se llevan a un contacto más o menos íntimo, de manera que el soluto o los solutos puedan difundirse unos en otros. Por lo general, las dos fases consideradas son parcialmente miscibles entre sí. El par de fases puede ser gas-líquido, gas-sólido, líquido-líquido, o líquido-sólido. Durante el

contacto los componentes de la mezcla original se redistribuyen entre ambas fases. Después de esto, las fases se separan por cualquier método físico simple. Seleccionando las condiciones y fases apropiadas, una fase se enriquece mientras que la otra se empobrece en UNO O mas componentes.

2.10.1. Tipos de procesos de separación.

1. Absorción. Cuando las dos fases en contacto son un gas y un liquido, la operación unitaria llama absorción. Un soluto A, o varios solutos, se absorben de la fase gaseosa y pasan a la liquida. Este proceso implica una difusión molecular turbulenta o una transferencia de masa del soluto A a través del gas B, que no se difunde y esta en reposo, hacia un liquido C, también en reposo. Un ejemplo es la absorción de amoniaco A del aire B por medio de agua liquida C. En general, la solución amoniaco-agua que sale se destila para obtener amoniaco relativamente puro.

Otro ejemplo es la absorción de SO_2 de gases de combustión en soluciones alcalinas. En la hidrogenación de aceites comestibles en la industria alimenticia, se hace burbujear hidrogeno gaseoso en el aceite para absorberlo en el mismo; entonces, el hidrogeno en solución reacciona con el aceite en presencia de un catalizador. Al proceso inverso de la absorción se le llama empobrecimiento o desorción y a él aplican las mismas teorías y principios básicos. Un ejemplo es la desorción con vapor de aceites no volátiles, en la cual el vapor se pone en contacto con el aceite y pequeñas cantidades de componentes volátiles del mismo pasan a la corriente de vapor.

Cuando el gas es aire puro y el liquido es agua pura, el proceso se llama humidificación. La deshumidificación significa extracción de vapor de agua del aire.

2. Destilación. En el proceso de destilación aparecen una fase de vapor volátil y una fase liquida que se vaporiza. Un ejemplo es la destilación de una solución etanol-agua, donde el vapor contiene una concentración de

etanol mayor que el líquido. Otro ejemplo es la destilación de una solución amoníaco-agua, para producir vapor mas rico en amoníaco. En la destilación de petróleo crudo se separan varias fracciones, como gasolina, kerosina y aceites para calefacción.

3. Extracción liquido-liquido. Cuando las dos fases son liquidas, y se extrae un soluto o solutos, el proceso se llama extracción liquido-liquido. Un ejemplo es la extracción de ácido acético de una solución acuosa por medio de éter isopropílico. En la industria farmacéutica es muy común extraer antibióticos de una solución acuosa de fermentación usando un disolvente orgánico.

4. Lixiviación. Si se usa un fluido para extraer un soluto de un solido, el proceso recibe el nombre de lixiviación. Algunas veces este proceso también se llama extracción. Algunos ejemplos son la lixiviación de cobre en minerales sólidos por medio de ácido sulfúrico y la lixiviación de aceites vegetales de harina de soya por medio de disolventes orgánicos como el hexano. Los aceites vegetales también se lixivian de otros productos biológicos, como cacahuate, semillas de algodón y semillas de girasol. La sacarosa soluble se lixivia con agua a partir de azúcar de caña y de remolacha.

5. Procesamiento con membranas. La separación de moléculas por medio de membranas es una operación unitaria relativamente nueva que esta adquiriendo cada vez mas importancia. La membrana sólida, relativamente fina, controla la tasa de movimiento de moléculas entre las dos fases. Se utiliza para eliminar la sal del agua, purificar gases, en el procesamiento de alimentos, etcétera.

6. Cristalización. Los solutos solubles componentes de una solución pueden extraerse de ésta ajustando las condiciones como temperatura o concentración, de manera que se exceda la solubilidad de uno o más solutos y estos cristalicen como fase solida. Entre los ejemplos del proceso de

separación esta la cristalización del azúcar a partir de soluciones y la de sales metálicas en el ciento de soluciones de minerales metálicos.

7. Adsorción. En un proceso de adsorción se adsorben uno o mas componentes de una corriente de no de gas sobre la superficie o en los poros de un adsorbente solido, y se logra la separación. Entre los ejemplos se tienen la eliminación de compuestos orgánicos del agua contaminada, la separación de parafinas de los compuestos aromáticos, y la eliminación de disolventes del aire.

2.10.2. Métodos de proceso.

En las separaciones que se acaban de mencionar se utilizan diversos métodos de proceso. Las dos fases, cómo gas y líquido, o líquido y líquido, se mezclan entre si en un recipiente para después sepáralas. Este es un proceso de una sola etapa. Con mucha frecuencia, las fases se mezclan en una etapa, se separan y después se ponen otra vez en contacto en un proceso de etapas múltiples. Ambos métodos se llevan a cabo ya sea por lotes o con régimen continuo. En otro método más, las dos fases se ponen en contacto en forma continua en una torre empacada.

2.10.3. Regla de las fases y equilibrio.

Para predecir la concentración de un soluto en dos fases en equilibrio, se requieren datos de equilibrio experimentales. Además, si las dos fases no están en equilibrio, la velocidad de transferencia de masa es proporcional a la fuerza impulsora, que es la desviación con respecto al equilibrio. En todos los casos de equilibrio hay dos fases presentes, tales como gas-líquido o líquido-líquido. Las variables importantes que afectan al equilibrio de un soluto son temperatura, presión y concentración. El equilibrio entre dos fases en cualquier caso, esta restringido por la regla de las fases:

$$F=C -P +2$$

donde P es el número de fases en equilibrio, C es el número de componentes totales en las dos fases (cuando no se verifican reacciones químicas), y F es el número de variantes o grados de libertad del sistema. Por ejemplo, en el sistema gas-líquido de CO_2 -aire-agua, hay dos fases y tres componentes (considerando al aire como un componente inerte). Entonces, por medio de la ecuación.

$$F = C - P + 2 = 3 - 2 + 2 = 3$$

Esto significa que hay tres grados de libertad. Si la presión total y la temperatura están fijas, sólo queda una variable que puede ser cambiada a voluntad. Si la composición de fracción molar X_A del CO_2 (A) en la fase líquida es constante, la composición de la fracción molar Y_A la presión P_A en la fase gaseosa, quedan determinadas automáticamente.

La regla de las fases no indica la presión parcial P_A en equilibrio con el valor de seleccionado X_A . El valor de P_A se debe obtener por métodos experimentales. Claro está que las dos fases pueden ser gas-líquido, líquido-sólido, etc. Por ejemplo, la distribución de equilibrio del ácido acético entre una fase de agua y una de éter isopropílico se puede determinar experimentalmente para diversas condiciones.

2.11. Métodos utilizados para la retención de vapor de agua en el biogás.

Henrich, R. A., y C. Phillips (1983), en su trabajo mencionan que uno de los problemas principales que se asoció con la manipulación del biogás es en gran parte quitar el agua, para ello dan a conocer un número de sistemas diferentes que pueden servir para reducir drásticamente el condensado de una tubería.

En las figuras se ilustra a través de un tubo de desagüe de sistema manual (la meta).

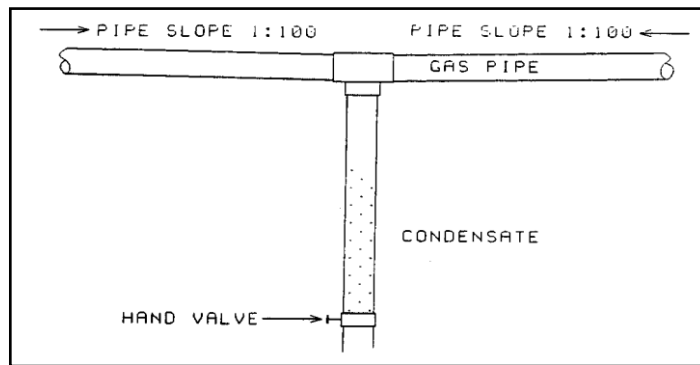


Figura 2.4. El tubo de desagüe manual del condensado. Fuente: (ESCAP 1980).

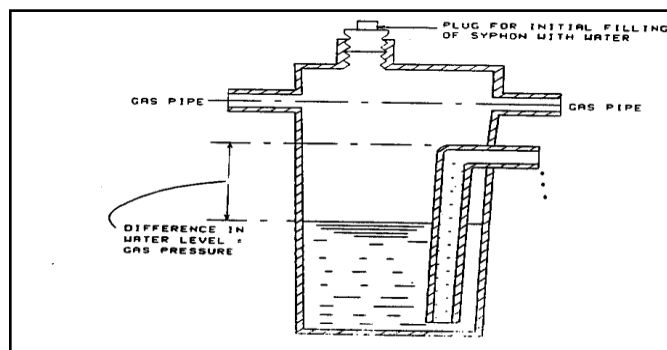


Figura 2.5. El tubo de desagüe del condensado del sifón. Fuente: (ESCAP 1980).

2.12. Filtro.

2.12. 1. Definición de filtro.

Encontramos en el sitio Web diquima (2007), la siguiente definición, filtros son equipos en los que se lleva a cabo la operación de separación sólido-líquido denominada filtración. Esta operación consiste en una separación física donde no existe transferencia de materia sino que lo que se da es una separación entre distintos estados de agregación.

2.12.2. Filtración.

La filtración es una operación unitaria donde se consigue la separación de los sólidos que se encuentran suspendidos en un medio líquido haciendo pasar la suspensión a través de un medio poroso, el cual va a retener las partículas sólidas dejando pasar el líquido. Los sólidos quedarán retenidos en función de su granulometría y según sea el tamaño de los poros.

2.12.3. Distintos tipos de mallas para el medio filtrante.

Un proceso de filtración presenta diversas características que se han de tener en cuenta para clasificar el proceso y seleccionar el equipo adecuado. Los distintos criterios de clasificación que se siguen son de acuerdo ha:

- La fuerza impulsora de la filtración – gravedad.
- Presión o vacío.
- Centrífuga.

2.12.4. El mecanismo de filtración. Filtración por torta: si la proporción de sólidos es muy elevada, las partículas quedan retenidas en la superficie del medio filtrante estableciéndose gradualmente una torta de espesor creciente sobre el medio filtrante, con lo que en realidad la filtración se va a realizar a través de la torta. Por tanto la mayor parte de partículas se recogen en la torta filtrante y posteriormente ésta se separa del medio.

Filtración en lecho profundo: la proporción de partículas sólidas es muy pequeña y con frecuencia su diámetro es menor que el de los poros del medio filtrante por lo que las partículas penetran hasta una profundidad considerable antes de ser atrapadas.

2.12.5. El objetivo de la filtración.

El objetivo de la filtración puede ser obtener un líquido clarificado, limpio de sólidos o bien el producto sólido lo más seco posible, es decir con la menor cantidad de líquido que se pueda conseguir. Otra finalidad de la

filtración, por ejemplo en los tratamientos de aguas, es simplemente depurar el efluente para hacer posible su vertido.

- El ciclo de operación.
- Funcionamiento continuo.
- Funcionamiento discontinuo.

2.13. Tipos de filtros.

El mismo sitio Web unicrom (2007), menciona los numerosos tipos de filtros dependiendo de aplicación a que estén destinados, y como se ha visto anteriormente, su clasificación se puede realizar atendiendo a diferentes criterios, aunque lo más frecuente es su caracterización en función de la fuerza motriz.

Los factores principales a considerar a la hora de elegir un tipo de filtro frente a otro son: la resistencia específica de la torta, la cantidad a filtrar y la concentración de sólidos.

Otra de las características del filtro a tener en cuenta es la facilidad de descarga de la torta o elemento filtrante.

Ante todo lo que va a decidir la elección del filtro es el factor económico. Normalmente el precio del equipo está directamente relacionado con el área filtrante.

2.13.1. Los filtros clarificadores.

Los filtros clarificadores o de lecho profundo (Figura 2.6) se suelen emplear cuando la cantidad de sólidos presentes en el líquido es muy pequeña, siendo de gran aplicación para la depuración de agua y el tratamiento de aguas residuales. En este grupo se tienen los filtros de lecho, los cartuchos filtrantes y otros. Los filtros de cartucho son cada vez más utilizados en la industria por sus buenos resultados.



Figura 2.6. Cartuchos filtrantes. Fuente: (diquima2007).

2.13.2. Filtro prensa.

Filtro prensa (Figura 2.7) es uno de los filtros más usados debido a su gran versatilidad, tanto en relación a la amplia gama de materiales y como las diversas condiciones de operación que se pueden aplicar, además de su bajo coste de mantenimiento. Se emplea en los casos en que la resistencia específica de la torta es elevada y siempre que la cantidad de sólidos no sea tan elevada que obligue a desmontar frecuentemente la prensa que provocaría desgastes excesivos en las telas. Sin embargo, no está recomendado su uso para tratar grandes cantidades. Consisten en una serie de elementos cuadrados o rectangulares, que pueden ser placas y marcos alternados o cámaras, entre los que se coloca la tela filtrante. De esta forma, se distinguen dos tipos de filtros prensa: la prensa de placas y marcos y la prensa de cámaras. La diferencia entre ambas radica en que la segunda prescinde de los marcos y que el canal de alimentación se encuentra en el centro de cada una de las placas en vez de en una de las esquinas como ocurre en la prensa de placas y marcos.



Figura 2.7. Filtro prensa. Fuente: (diquima2007).

2.13.3. Filtros rotativos a vacío.

Son muy empleados debido a que trabajan en continuo y a su bajo coste de operación motivado por su funcionamiento automático. Se emplea para materiales de filtración poco complicados. Posee una gran capacidad en relación a su tamaño. Dentro de los filtros rotativos se tienen tres tipos figura 2.8.

- De tambor rotativo.
- De pre-recubrimiento.
- De discos.



Figura 2.8. Filtro de tambor. Fuente: (diquima2007).

2.13.4. Filtros centrífugos.

Otro tipo de filtros a señalar son los filtros centrífugos. Ofrecen ciertas ventajas frente a los filtros anteriores como la posibilidad de obtener bajas humedades residuales en los sólidos y la gran capacidad de tratamiento, mientras que, por otra parte, los principales inconvenientes son el elevado coste y el trabajar a altas velocidades, que ocasiona problemas de

desgaste. Es frecuente expresar la fuerza centrífuga aplicada en términos de las veces que la aceleración centrífuga supera a la de la gravedad. Así se encuentran valores que pueden oscilar desde las 500 hasta las 50,000g. Entre los filtros centrífugos destacan:

Centrífuga de cesta (Figura 2.9) es la más sencilla y universal. Consiste en una cesta, vertical u horizontal, sobre la que se coloca el elemento filtrante. Como problema presenta la descarga de sólidos, que se debe realizar manualmente y supone una operación bastante lenta. Giran a velocidades comprendidas entre 600 y 1800 rpm.

Centrífuga de tornillo helicoidal: tiene forma tronco-cónica y la alimentación debe ser una suspensión bastante concentrada. Las posibilidades de lavado son bastantes escasas. Alcanza aceleraciones entre 1500 y 2500g.

Centrífuga rascadora o 'peeler': es una máquina de funcionamiento discontinuo mientras que la descarga de la torta se realiza de manera automática por acción de un cuchillo rascador. Las velocidades alcanzadas son bajas (de 500 a 1600g). La capacidad de lavado de la torta es muy buena. Las variantes existentes de este equipo se distinguen en cuanto al tipo de rascador o a la existencia o no de un sifón para dar salida al líquido.

Centrífuga de empuje, tiene un funcionamiento de flujo continuo, este consiste en una cesta de eje horizontal dotada de un falso fondo constituido por un pistón que se desplaza axial y alternativamente, empujando la torta formada y desplazándola parcialmente fuera de la cesta. La torta debe tener una cierta rigidez para que el mecanismo de empuje funcione eficazmente. Como ventaja notable destaca la posibilidad de obtención de la torta con humedades residuales muy bajas. También existen modelos con dos o más cestas concéntricas que giran solidariamente con un eje común. La torta pasa de manera sucesiva de una cesta a otra, actuando la propia cesta interior como empujadora de la exterior.



Figura 2.9. Centrifuga de cesta vertical. Fuente: (diquima2007).

2.13.5. Funcionamiento del filtro.

El mismo sitio Web diquima (2007), cita que el funcionamiento de todo filtro se basa en la existencia de una diferencia de presión que obliga a una suspensión a atravesar el medio filtrante. En la superficie del medio filtrante se van a depositar los sólidos presentes formando con su acumulación una torta por la que debe seguir circulando la suspensión a filtrar.

En las centrifugas la fuerza impulsora se aporta como energía cinética. El sólido se ve lanzado hacia la periferia, que se encuentra perforada, en la que se va a depositar comprimiéndose hasta formar una torta. Estos equipos se emplean igualmente para el lavado o el escurrido de sólidos.

2.13.6. Los factores principales que afectan a la filtrabilidad.

- La naturaleza de la suspensión.
- La fuerza impulsora aplicada.
- La resistencia de la torta a la filtración.
- La temperatura de la suspensión.
- El tamaño de las partículas.
- La concentración de sólidos en suspensión.
- El efecto de la utilización de floculantes y de la agitación

El medio filtrante debe ser resistente mecánicamente y a la acción corrosiva del fluido, mostrar poca resistencia al flujo del filtrado, así como permitir que la torta se desprenda fácilmente.

2.13.7. Aplicación de los filtros.

Entre las aplicaciones mencionadas por el mismo sitio Web unicrom (2007), de los filtros se debe mencionar que, aparte de la filtración propiamente dicha, éstos pueden realizar otras funciones de separación sólido-líquido como: clarificación, extracción, lavado de torta, deshidratación y recuperación de sustancias.

La filtración se emplea en un gran número de procesos relacionados con industrias muy diversas; como ejemplo se citan las siguientes:

- Química: filtración de azufre fundido, silicato sódico, ácido cítrico, resinas y fibras sintéticas, plásticos.
- Farmacéutica: producción de vitaminas y antibióticos
- Alimentaria: filtración de glucosa, fructosa y azúcares, jugos de frutas, cerveza, vino,...
- En la producción de azúcar se emplean filtros de vacío siempre que sea necesaria la separación de materia sólida de un líquido, también aparecen centrífugas.
- En la producción de zumos de frutas, hay que señalar que está aumentando la utilización de filtros para espesamiento de tipo continuo frente a los típicos decantadores.
- En el embotellado vino o zumos de frutas, se emplean los filtros de placas como filtro final para la esterilización. Otros usos de los filtros en la industria del vino se dan en bodega para filtración clarificante y eliminación de turbidez si se coloca el filtro entre dos tanques.
- Industria del aceite: pulido de aceites, blanqueo y sinterización.
- Agroquímica: producción de insecticidas.
- Petroquímica: separación de distintos componentes como la posibilidad de obtención de parafinas cristalinas de las que no lo son.
- Recuperación y refinado de metales: por ejemplo filtración de sales de zinc, cobre, níquel, etc.

2.13.8. Filtros deshidratadores para refrigeración.

De acuerdo al sitio Web totaline (2008), establece que los filtros deshidratadores, son diseñados bajo estrictas normas de calidad para asegurar la protección del sistema de refrigeración, garantizando su correcto desempeño. Estos filtros evitan la circulación de impurezas presentes en el refrigerante que pueden causar serios daños, y a su vez deshidratan al mismo.

Características

- Pasos de fibra de vidrio y telas de acero inoxidable para una filtración óptima.
- Distribución del líquido en toda la superficie del desecante para un mejor aprovechamiento del mismo.
- Desecante con tamiz 100% molecular en esferas de 3 mm, 5 mm y 4 A
- Desecante encapsulado para evitar la circulación del mismo por el sistema de refrigeración en caso de rotura.
- Acabado exterior con pintura epoxi para garantizar la resistencia a la corrosión y a los golpes.

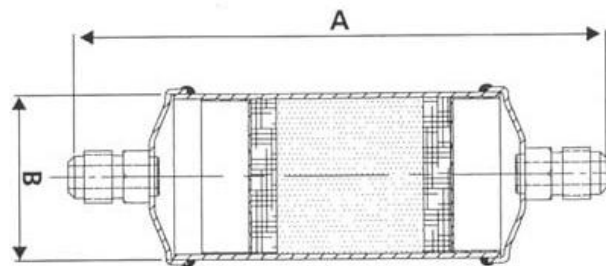


Figura 2.10. Filtro deshidratante para refrigeración. Fuente (totaline 2008).

El sitio Web compair (2008), dice que los separadores de agua de CompAir han sido diseñados para la eliminación eficaz de la contaminación del líquido proveniente del aire comprimido. Hoy día, muchos productos están destinados a la eliminación del líquido. Los separadores de agua han sido

diseñados con una atención especial en las áreas críticas, tales como la administración del flujo de aire, separación eficiente en todas las condiciones del caudal, mínimas pérdidas de presión y rendimiento comprobado por entidad independiente.

Beneficios

- Comprobado según ISO 8573.9
- Rendimiento verificado independientemente por Lloyds Register.
- Alta eficiencia en la eliminación del líquido en todas las condiciones del caudal.
- Bajas pérdidas de presión y mínimos costos operativos.
- Múltiples tamaños de puerto para un caudal específico, proporcionan una mejor flexibilidad durante la instalación.
- Adecuados para compresores de volumen variable.
- Se ajustan a todo tipo de compresor y condensado de compresor.
- Mínimo mantenimiento.
- 10 años de garantía de la carcasa.
 - Aplicaciones típicas.
- Eliminación de líquido en cualquier punto en un sistema de aire comprimido.
- Protección de refrigeración y pre-filtrado del secador de adsorción.
- Eliminación del líquido proveniente de los inter-enfriadores y enfriadores posteriores.
- Separación del líquido dentro de los secadores de refrigeración.



Figura 2.11. Filtro separador de líquido. Fuente (compair 2008).

2.14. Elemento filtrante.

2.14.1. Filtrante.

El sitio Web elprisma (2007), menciona que el medio filtrante es la barrera que retiene los sólidos y deja pasar el líquido, puede ser un tamiz, una tela, un tejido de fibras, fieltro, membranas poliméricas o un lecho de sólidos. El líquido que atraviesa el medio filtrante se denomina filtrado.

2.14.2. Gel de sílice.

El sitio Web quiminet (2007), define al gel de sílice en una forma granular y porosa de dióxido de silicio hecho a partir de silicato sódico. A pesar de su nombre es un gel sólido y duro.

Su gran porosidad de alrededor de $800 \text{ m}^2/\text{g}$, le convierte en un absorbente de agua, por este motivo se utiliza para reducir la humedad en espacios cerrados; normalmente hasta un cuarenta por ciento. Es un producto que se puede regenerar una vez saturado, si se somete a una temperatura de entre $120\text{-}180 \text{ }^\circ\text{C}$. Calentándolo desprenderá la humedad que haya absorbido por lo que puede reutilizarse una y otra vez sin que ello afecte a la capacidad de absorción, ésta solo se verá afectada por los contaminantes que posea el fluido absorbido.

Este gel no es tóxico, inflamable ni químicamente reactivo. Sin embargo, las bolsitas de bolitas de gel, llevan un aviso sobre su toxicidad en caso de ingestión. Se debe a que el cloruro de cobalto que se suele añadir para indicar la humedad del gel, sí es tóxico. El cloruro de cobalto reacciona con la humedad, cuando está seco es de color azul y se vuelve rosa al absorber humedad.

El gel de sílice, también conocido como Silicagel, es un producto absorbente, catalogado como el de mayor capacidad de absorción de los que se conocen actualmente.

2.14.3. Principales aplicaciones.

La misma fuente enlista las aplicaciones del gel de sílice en la industria.

Sequedad estática.

- Embalajes a prueba de humedad (materiales electrónicos y fotosensibles).
- Aplicaciones de instrumental de precisión y eléctrico Comestibles.
- Medicinas.
- Armas.

Sequedad dinámica.

- Aire seco en almacenes, laboratorios farmacéuticos, fábricas de instrumentos de precisión y electrónicos.
- Aire comprimido.
- Deshidratación.
- Fabricación de gases industriales.
- Control de humedad en el medio ambiente.

Absorción y separación de sustancias

- Separación de impurezas en la industria petroquímica.
- Industria química sintética.
- Estaciones de energía eléctrica.
- Refinamiento de productos químicos orgánicos.

2.14.4. Propiedades de la siligel.

La fuente cosmos (2007), menciona que las propiedades de la silica gel absorbe lentamente la humedad aproximadamente del 3 al 6 % cada hora dependiendo de la humedad del medio ambiente y lo hermético del envase.

- Son Cristales Amorfos de SiO_2 al 99 % de pureza.
- Mantiene secos los productos que están envasados con la silica.
- Al absorber la humedad la Silica no se hace liquida.

2.15. Materiales de medición.

2.15.1. Hidrotermógrafo.

Sirve para registrar automáticamente la temperatura y la humedad relativa. La medición de la temperatura se realiza por medio de un elemento bimetalico, y la de la humedad relativa, por un haz de cabellos con un tratamiento especial. Ambos valores se registran separadamente en una banda semanal.

Descripción del aparato.

El conjunto medidor está formado por dos sensores, el de temperatura y el de humedad relativa, fijados a una columna.

2.15.2. Características técnicas.

Humedad.

- Alcance de medida: de 0% hasta el 100%.
- División de la escala: 5% de humedad relativa.
- Elemento de medida: haz de cabellos.
- Temperatura de funcionamiento: -35°C a $+70^{\circ}\text{C}$.
- Precisión: $\pm 2\%$ de humedad relativa.

Temperatura.

- Alcance de medida: de -35°C a $+45^{\circ}\text{C}$.
- División de la escala: 1°C .
- Elemento de medida: bimetálico.
- Precisión: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

2.16. Metodología del diseño.

2.16.1. Concepto de producto.

Según el sitio Web monografías (2008), establece que se puede definir al producto desde un aspecto psico-social donde a la persona le mejora su imagen, su estatus, su exclusividad y vanidad. También se puede decir que el producto representa a la empresa donde se muestra la imagen y la calidad, siempre con el fondo de satisfacer las necesidades de los consumidores.

2.16.2. Ciclo de vida de un producto.

El concepto del ciclo de vida del producto es cautivador en su sencillez, pero es una noción de difícil aplicación en la práctica. La principal desventaja es que es muy difícil anticipar el ciclo de vida de un producto. Muy pocos gerentes de producto diagnostican con claridad la fase precisa del ciclo de vida en la cual se encuentran sus respectivos productos. Por medio de evidencias circunstanciales se supone que el producto se desplaza desde el crecimiento hasta la madurez. Si, por ejemplo, se observa que un competidor aumenta su presupuesto para anuncios y (o) su oferta de descuentos especiales, se infiere que la fase de crecimiento está por terminar. Todas éstas son señales de sentido común, pero de dudoso valor científico.

2.16.3. Construcción del prototipo.

La construcción del prototipo puede tener varias formas diferentes. Primero, se pueden fabricar a mano varios prototipos que se parezcan al producto final. Por ejemplo, en la industria automotriz es normal hacer modelos de arcilla de los automóviles nuevos.

En la industria de servicios un prototipo podría ser un solo punto en donde se pueda probar el concepto de servicio en su uso real. Se puede modificar del servicio, si es necesario, para satisfacer mejor las necesidades del consumidor. Una vez que se ha probado el prototipo con éxito, se puede terminar el diseño definitivo y dar el servicio en franquicia y desarrollarlo a gran escala.

2.16.4. Pruebas.

Las pruebas en los prototipos buscan verificar el desempeño técnico y comercial. Una manera de apreciar el desempeño comercial es construir suficientes prototipos como para apoyar una prueba de mercado para el nuevo producto. Las pruebas de mercado casi siempre duran entre seis meses y dos años y se limitan a una región geográfica pequeña. El propósito de una prueba de mercado es obtener cuantitativos sobre la aceptación que tiene el producto entre los consumidores.

También se prueba el desempeño Técnico del producto en los prototipos. Por ejemplo, todas las aeronaves militares nuevas se prueban mediante el uso de prototipos. Se pueden construir hasta seis aeronaves prototipo y se les prueba de manera extensa antes de que la administración apruebe el diseño definitivo del producto. Los cambios de ingeniería que se inician como resultado de las pruebas en los prototipos incorporan entonces al paquete de diseño final.

2.16.5. Diseño definitivo del producto.

Durante la fase de diseño definitivo, se desarrollan dibujos y especificaciones para este producto. Como resultado de las pruebas en los prototipos se pueden incorporar ciertos cambios al diseño definitivo. Cuando

se hacen cambios, el producto puede someterse a pruebas adicionales para asegurar el desempeño del producto final. La atención se enfoca entonces en la terminación de las especificaciones de diseño para que se pueda proceder con la producción.

Sin embargo, la investigación y desarrollo no solo debe desarrollar especificaciones de diseño para operaciones. Debe desarrollarse un paquete de información para asegurar la factibilidad de producir el producto. Este paquete de información debe contener detalles relacionados con la tecnología de proceso, datos de control de calidad, procedimientos de prueba del rendimiento del producto y otras cuestiones parecidas. Es demasiado frecuente que el diseño del producto termine con un juego de especificaciones y nada más.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización geográfica y caracterización del área experimental.

El presente trabajo se desarrollo en el campus de la Universidad Autónoma Antonio Narro, en el área del laboratorio de biogás (Figura 3.1), en Buenavista, Saltillo, Coahuila en el año 2008. El campus se localiza al sur de la ciudad de Saltillo en el Km. 10 de la carretera a Zacatecas, entre los paralelos 25°22' y 25°21' de latitud Norte y los meridianos 101°01' y 101°03' de longitud oeste, con una altitud de 1754 msnm.



Figura 3.1. Laboratorio de Biogás.

El clima en el municipio es de subtipos secos semi cálidos; al suroeste subtipos semisecos templados y grupos de climas secos B y semifríos, en la parte sureste y noreste; la temperatura media anual es de 14 a 18 °C y la precipitación media anual en el sur del municipio se encuentra en el rango de los 300 a 400 milímetros; con régimen de lluvias en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y escasas en noviembre, diciembre, enero febrero y marzo; los vientos predominantes soplan en dirección noreste con velocidad de 22.5 km/h. La frecuencia de heladas es de 20 a 40 días en la parte norte-noreste y sureste y de 0 a un día en el resto. (Enciclopedia de los municipios de México, 2007).

3.2. Metodología.

3.2.1. Selección del material.

Al no encontrar ningún filtro en el mercado que cumpla los requerimientos para el compresor construido por Hidalgo L. A. 2007 el cual tiene un gasto de 65.75 ltr/min., y en el sistema de captación de biogás, en nuestro proyecto, fue necesario construir uno que cumpla con las características requeridas, como que sea fácil de dar mantenimiento y lo menos costoso posible, para ello fue necesario encontrar un material resistente y fácil de conseguir en el mercado.

Como ya fue citado, los sistemas de filtrado de biogás en el mundo son muy difíciles de conseguir en el mercado y costosos la empresa compesa los vende entre los \$2500 pesos m/n a \$5000 pesos m/n, según el gasto que se requiera filtrar, esto hace que el mediano y pequeño productor no puedan implementar un sistema de filtrado comercial, debido a que aumentaría demasiado la inversión inicial. Con estas consideraciones en mente, se procedió a diseñar un filtro a base de tubería de PVC-1120 hidráulico y gel de sílice.

Cabe mencionar que este material no tendría problemas de corrosión debido a la humedad que se quedaría en el elemento filtrante, esta característica hizo al PVC-1120 como el material mas apropiado para la construcción del filtro. La vida útil de este material en condiciones apropiadas puede llegar a ser de 20 años, la resistencia del PVC a la abrasión, su ligereza y su buena resistencia y fuerza mecánica son la clave de su uso en este proyecto.

3.2.2. Diseño del filtro.

El modelo propuesto es un vínculo dotado de material filtrante, que sirve para poder eliminar el vapor de agua encontrado en el biogás y de esta manera proporcionar un combustible más limpio, aumentar su poder calorífico y una flama más constante.

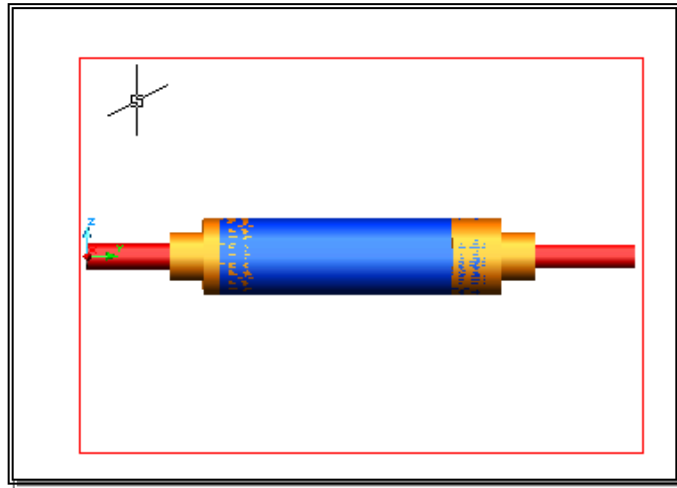


Figura 3.2. Diseño del filtro.

3.2.3. Partes de que consta el filtro.

El filtro para eliminación de vapor de agua, fundamentalmente consta de las siguientes partes.

- ⇒ Entrada de biogás de 1-1/2 plg de tubo de PVC, al material filtrante.
- ⇒ Conexiones de PVC, de 4 a 1-1/2 plg para poder adaptar el filtro al sistema de captación y compresión del biogás.
- ⇒ Perforaciones al tubo de conducción del biogás.
- ⇒ Tapa de 1-1/2 plg para el tubo de conducción del biogás.
- ⇒ Cuerpo del filtro.
- ⇒ Salida del biogás de 1-1/2 plg. de tubo de PVC, la cual conecta las mangueras de entrada al compresor.

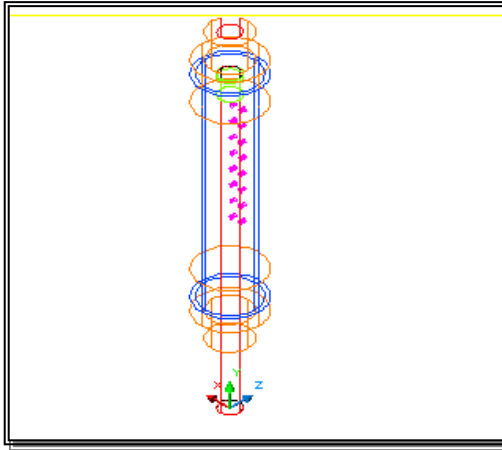


Figura 3.3. Vista isométrica de los componentes del filtro

3.2.4. Entrada del biogás.

El biogás una vez almacenado en la bolsa del sistema de captación, es absorbido por la fuerza centrífuga del compresor el cual en su conducción, desciende por un tubo que conecta al dispositivo de entrada del filtro, que este a su vez tiene como función de lograr que el biogás pase a través del material filtrante.

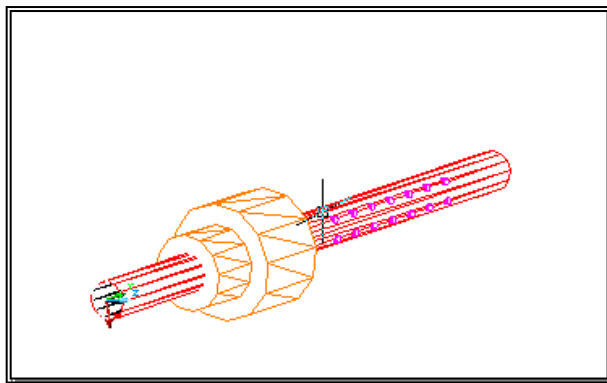


Figura 3.4 Vista isométrica del componente de entrada del biogás.

Este cuerpo (figura 3.4.), es construido con material comercial como es el PVC-1120, con un diámetro de 1-1/2 plg respectivamente, lleva al final del recorrido una tapa de 1-1/2 plg del mismo material utilizado en el sistema de entrada, esta será colocada para lograr la salida del biogás a través de los orificios que en el diseño se plantean, de los cuales se dan sus especificaciones mas adelante.

3.2.5. Conexiones.

Uno de los problemas encontrados para adaptar el diseño propuesto sería conectar las mangueras de captación y las salidas al compresor al filtro ya que este será colocado entre estos dos componentes del sistema.

Para ello fue necesario plantear la colocación de reducciones (figura 3.5.) tanto en la entrada como en la salida del filtro, las cuales tendrán que ser de 4 a 1-1/2 plg.

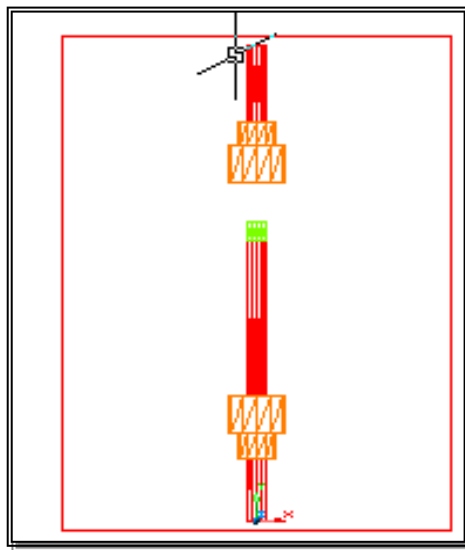


Figura 3.5. Vista isométrica de las reducciones de entrada y salida del filtro.

3.2.6. Perforaciones al tubo de conducción del biogás.

El tubo de entrada del biogás está perforado a lo largo de 8 plg, cada orificio tiene un diámetro de 1/8 plg con una separación entre cada orificio de 1.14 plg. Al final del tubo se coloca una tapa, para evitar el flujo horizontal del biogás y permitir la salida del biogás a través de los orificios figura 3.6.

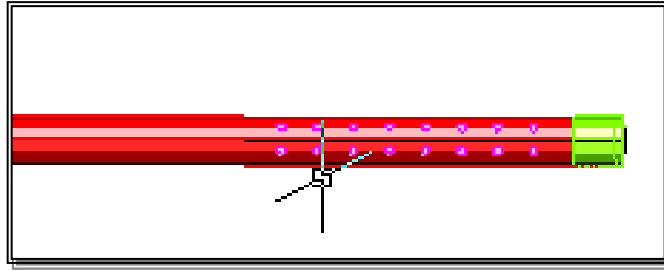


Figura 3.6. Vista de las perforaciones al tubo de entrada.

3.2.7. Cuerpo del filtro.

Este es el que contiene al elemento filtrante, es un tubo comercial de PVC-1120 de 4 plg de diámetro para sistema hidráulico, el cual tiene una longitud de 16 plg. Siendo este un factor importante para la eficiencia del filtrado del biogás. En la figura 3.7 se aprecia el cuerpo que contiene al material filtrante (color azul).

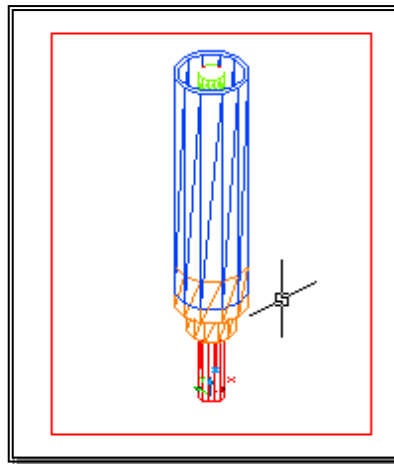


Figura 3.7. Vista isométrica del depósito del filtro.

3.3. Herramientas y Equipos.

- Desarmadores de diferentes medidas.
- Segueta.
- Cinta Métrica.
- Llave de Ajustes de tipo inglesa, llave ajustable (grifa)
- Hojas de lijas de papel de tipos medias 100, 120, y finas de 150.
- Martillo.
- Pinzas de presión.
- Segueta manual.
- Taladro Black and Decker de 12 volts con brocas de diferentes medidas.
- Software Utilizado:
- Autodesk, AutoCAD.
- Microsoft Word.
- Microsoft Excel.
- Paint.

3.4. Ensamble del filtro.

Una vez que se logró el diseño y se consiguieron las partes y elementos que constituyen el filtro, se procedió a su ensamble. El procedimiento de ensamble fue simplemente, hacer los respectivos cortes de acuerdo con las medidas requeridas según el diseño. Una vez terminado esto, se realizó la unión de de las piezas por medio de pegamento para PVC. Las primeras conexiones que se hicieron fueron las reducciones de entrada y salida del filtro (figura 3.8).



Figura 3.8 Reducciones de entrada y salida de 4 a 1-1/2 plg.

Concluido este proceso, se perforo el tubo de entrada del biogás con el taladro, para ello se utilizó una broca 1/8 plg. Las perforaciones se realizaron cada 1.14 plg de distancia, figura 3.9.



Figura 3.9. Tubo perforado para la salida del biogás.

Una vez hechos los orificios, se procedió al ensamble del tubo de entrada de gas con las reducciones ya antes citadas. Al final del tubo se colocó una tapa para obligar a que el biogás fluya a través de los orificios.

En este trabajo, para lograr un menor riesgo de fuga, fue necesario colocar pegamento para PVC, en todas las conexiones realizadas. La tapa colocada al final, es de conexión hidráulica comercial, de 1-1/2 plg de diámetro, figura 3.10.



Figura 3.10. Ensamble del tubo de entrada del biogás con las conexiones.

Después de cortar y ensamblar los elementos ya mencionados, se procedió a colocar el tubo de 4 plg con la conexión hembra en ambos extremos, el tubo se cortó a una longitud de 16 plg. También se utilizó material sellante, esto con el fin de lograr una conexión mas hermética para evitar perdidas del biogás. Figura 3.11.



Figura 3.11. Tubo de 4 plg con las conexiones hembras.

La malla utilizada es para evitar que el material filtrante pase a las conexiones y mangueras, debido a que el gel esta formado por partículas pequeñas y no de manera uniforme pudiendo ocasionar que los orificios se

tapan y ocasionar pérdidas de biogás, es por ello que se colocaron a la entrada y salidas del filtro.



Figura 3.12. Ensamble de las salidas.

El material filtrante utilizado es el gel de sílice comercial DampRid, con un contenido neto de 1.81 kg este material fue seleccionado de acuerdo a la literatura consultada que nos dice, que es el que mejor absorbe la humedad, de todos los materiales higroscópicos, figura 3.13.

Además cumple con los requerimientos necesarios para este proyecto:

- Bajo costo.
- Durabilidad.
- Separación de impurezas.



Figura 3.13. Gel de sílice en presentación comercial.

3.5. Ensamble final del filtro.

Después de cortar y ensamblar los elementos que conforman el filtro, se continuó con el acoplamiento de cada uno de ellos. Se inicio con las conexiones de entrada de 1-1/2 plg. Esto permitió agregar el material filtrante. Colocado este, se unieron las conexiones de salida del mismo diámetro que las de entrada, figura 3.14.



Figura 3.14. Ensamble final de filtro.

Terminado este proceso, solo restó realizar las conexiones de las mangueras de entrada y salida del biogás en el filtro. Esta se realizó en las conexiones rápidas, agregando en cada lado un tubo de PVC, de 1/4 de plg y 6 plg de longitud, las mangueras conectadas son de 1 plg tanto en la entrada al filtro y salida, con sus respectivos conectores, figura 3.15.



Figura 3.15. Conexión de mangueras de entrada.

3.6. Costos

3.6.1. Costos de material y equipo,

Cuadro 3.1. Lista de precios del material y equipo utilizado.

CLAVE	MATERIAL	MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO \$
01	Adaptador hembra	4 plg	2	91.00
02	Adaptador macho	4 plg	2	92.40
03	Adaptador macho	3/4 plg	2	5.40
04	Adaptador hembra	3/4 plg	2	5.94
05	Abrazadera	1 plg	2	4.00
06	bolsa	1kg	10	2.00
07	Gel de sílice		1.11Kg	250.00
08	Hidrotermografo		1	149.01
09	Malla de alambre		12plg	60.00
10	Manguera para jardín	1kg	110 plg	24.00
11	Pegamento para PVC.		1	50.00
12	Reducción Bushing	4 a 2 plg	2	93.30
13	Reducción Bushing	2 a 1 1/2 plg	2	18.00
14	Reducción Bushing	1 ½ a 3/4plg	2	11.00
15	Tubo, PVC. Hidráulico	1 1/2 plg	100 plg	65.00
16	Tubo, PVC. Hidráulico	4 plg	70 plg	50.00
17	Tubo, PVC. Hidráulico	3/4 plg	50 plg	40.00
			Total	1,011.05

3.6.2. Costo de mano de obra.

Los costos de mano de obra para la construcción de este equipo se determinaron sumando los costos de cada una de las partes que se tuvieron que construir. Finalmente, el costo total del filtro es de \$1,611.05.

Cuadro 3.2. Costos de mano de obra.

Concepto	Costo \$
Ensamblado del filtro	400.00
Conexiones de salida y entrada	200.00
Total	600.00

3.7. Mantenimiento del equipo.

Los cuidados fundamentales a tener en cuenta, para que el equipo de filtrado cumpla satisfactoriamente sus funciones son:

- ❖ Inspeccionar detenidamente las conexiones de entrada y salida para ver si existen roturas, grietas o perforaciones que puedan ocasionar pérdidas del material filtrante.
- ❖ El elemento filtrante se debe cambiar como mínimo cada dos meses.
- ❖ Las uniones entre el filtro y conectores de entrada y salida, deben cerrar herméticamente, pues de lo contrario, el aire se colara por las holguras.
- ❖ El material filtrante debe cubrir todos los orificios hasta la tapa colocada al final del tubo de entrada, para que todo el biogás, sea filtrado.

IV. RESULTADOS

Terminada la etapa de construcción y instalado, se empezaron las pruebas de compresión de biogás, haciendo pasar el mismo por el filtro fabricado para reducción de humedad. Mediante este tiempo no se presentaron fugas o anomalías en el sistema.



Figura 3.16 Compresión de biogás.

El porcentaje de humedad, a la salida del biodigestor, se midió con un Hidrotermógrafo, este se depositó en una bolsa de plástico transparente, posteriormente la bolsa se llenó de biogás, directo del biodigestor y se obtuvieron las primeras lecturas de porcentaje de humedad.



Figura 3.17 Hidrotermógrafo.

Para la realización de la prueba después del filtro el biogás fue comprimido a 100 psi, ya que es en estas condiciones en las que trabajara nuestro equipo. La muestra se extrajo directo del depósito de almacenamiento.

Se realizaron otras pruebas en las líneas del sistema de compresión del biogás, que continuación se presentan en cuadro 3.4. y 3.5.

Cuadro No 3.3. Pruebas realizadas para determinar la eficiencia del filtro.

Pruebas de eficiencia del filtro	25 de febrero 2008
Temperatura ambiente	27%
Humedad ambiente	23%
Contenido de humedad en el biogás a la salida del biodigestor.	50%
Contenido de humedad después del filtro de vapor de agua.	21%
Porcentaje de reducción de vapor de agua en el biogás.	29%

Cuadro No 3.4. Pruebas realizadas para determinar la eficiencia del filtro.

Pruebas de eficiencia del filtro	01 Marzo 2008
Temperatura ambiente	22%
Humedad ambiente	44%
Contenido de humedad en el biogás a la salida del biodigestor.	57%
Contenido de humedad después del filtro de vapor de agua.	28%
Porcentaje de reducción de vapor de agua en el biogás.	29%

Esta reducción alcanzada en el filtro para vapor de agua en el biogás en un 29%, permite una mejor combustión del biogás, sin embargo se considera que es posible reducir mas el vapor de agua encontrado en el biogás, realizando ajustes en los elementos que componen el sistema y los conductos que los unen.

Para lograr esto se pueden realizar las siguientes acciones.

⇒ Menor diámetro para el tubo de entrada.

Dentro de los posibles ajustes que se recomienda utilizar en este proyecto es un tubo de menor diámetro en la entrada.

⇒ Reducir el diámetro de orificios de salida.

El filtro diseñado tiene orificios de salida 1/8 de plg, se proponen que al mismo diseño se le realicen orificios de menor diámetro a los propuestos en este, también se pueden reducir el numero de ellos.

⇒ Probar con otros materiales higroscópicos.

Existen diferentes materiales higroscópicos como el papel, madera, entre otros, estos se pueden utilizar en nuestro filtro y realizar las pruebas correspondientes para determinar con cada uno de ellos la eficiencia del filtro.

⇒ Proponer un diseño sistema de serpentín.

Diseñar un filtro con un sistema de serpentín, para que el biogás este mas tiempo en contacto con el material filtrante.

Cabe mencionar que del depósito a la salida del filtro de metal la presión a la que se hizo pasar el biogás fue mínima. Siendo este un factor para que la humedad sea reducida en mayor porcentaje.

El poder calorífico de la flama aumento, con ello se logro una flama mas azul indicador de un alto valor calorífico (figura 3.18) y constante. Estos factores hacen que la eficiencia en el biogás sea mayor, por consecuencia obtenemos una buena combustión.



Figura 3.18. Flama mas azul.

Debido a que no fue posible disponer de mayor volumen de biogás, no se realizaron mas pruebas. Pero por todo lo anterior, se considera que el filtro diseñado y construido para reducir el vapor de agua, funciono de manera aceptable, alcanzando los objetivos establecidos. Lamentablemente no se contó con equipo adecuado para medir el flujo del biogás en filtro, así como el tiempo de duración.

IV. CONCLUSIONES

- 1.- Los resultados obtenidos demuestran que es posible, reducir la cantidad de vapor de agua que se encuentra en el en biogás.
- 2.- Fue posible aumentar el poder calorífico de la flama, reduciendo el vapor de agua en el biogás.
- 3.- Se logro el diseño y fabricación de un filtro, de muy bajo costo, el cual cumple con los requerimientos necesarios, en nuestro sistema de producción de biogás.
- 4.- El filtro construido requiere de poco mantenimiento, siendo este muy sencillo de realizar.
- 5.- Con esto se cumple la hipótesis planteada en el proyecto, que menciona que es posible, reducir el vapor de agua contenido en el biogás mediante el uso de gel de sílice.
- 6.- Los resultados obtenidos, en las pruebas realizadas, demostraron que el flujo en el filtro es muy rápido, siendo este un factor para la eliminación de mayor cantidad de humedad encontrada en el biogás.

V. RECOMENDACIONES

Uno de los problemas encontrados en el diseño del filtro, es lo rápido que pasa el biogás en el material filtrante, para ello se dan las siguientes recomendaciones para ser más eficiente este diseño y con ello lograr un combustible con menos humedad y más poder calorífico.

- ⇒ Menor diámetro para el tubo de entrada.
- ⇒ Reducir el diámetro de orificios de salida.
- ⇒ Probar con otros materiales higroscópicos.
- ⇒ Proponer un diseño sistema de serpentín.

VI. LITERATURA CITADA

- 1.- Ashare. E. 1981. Analysis of Systems for Purification of Fuel Gas. In: Fuel Gas Production from Biomass. Vol. 2. CRC Pres., Inc. Boca Ratón. FL. USA.
- 2.- Contreras, L. 2006. Producción de biogás con fines energéticos. De lo histórico a lo estratégico. Revista futuros Volumen VI.
- 3.- Geankopolis C. J. 1998. Procesos de transporte y operaciones unitarias. Tercera edición. University of Minnesota. Ed. Continental, S.A. de C.V. México.
- 4.- Henrich, R. A. and C. Phillips. 1983. Purification of Digester Gas into Saleable Natural Gas or Vehicle Fuel. In: Water Pollution Control Federation 5 gth Annual October. <http://www.cipav.org.co/cipav/resrch/energy/alvaro1.htm>
- 5.- Hidalgo L. A. 2007. Diseño y construcción de un sistema para compresión de biogás para su aplicación en pequeñas y medianas agro empresas. Presentado como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Mecánico Agrícola.
- 6.- Zapata C. A. 2007. Utilización del biogás para generación de electricidad. Fundación CIPAV.
- 7.- Manrique, J. A. 1986. Transferencia de calor Ed. HARLA. México, DF.
- 8.- Mejía A. D. 2005. Biogás. Presentado como monografía como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Mecánico Agrícola.

LITERATURA CITADA EN SITIOS WEB

- 1.- Capraispana. 2005. Sitio la Web con dirección en Mafalda Impastato Planelles Avda. de la Vega 12 – Alcobendas 28100 – Madrid Y en Internet: <http://www.capraispana.com/curiosidades/biogas/consideraciones.htm>
- 2.- Consumer. 2007. energía y ciencia. Sitio Web: www.consumer.es/web/es/medioambiente/energiayciencia/2005/04/07/14102.php.
- 3.- Consumer.2007. Sitioweb: http://www.consumer.2006.es/accesible/es/medioambiente/energia_y_ciencia/200604/07/14102.php.

- 4.- Cosmos 2007. Propiedades de la siligel. Sitio Web:
<http://www.cosmos.com.mx>
- 5.- Compesa 2007. Compesa de Chihuahua S.A. de C.V. Sitio Web:
http://www.compesa.com.mx/compresores-chihuahua-aire-bombas-secadorescompesa/index.php?option=com_content&task=view&id=30&Itemid=4
- 6.- Compair 2008. Equipos de flujo descendente – Métodos de tratamiento de aire. Disponible en el sitio Web:
http://www.compair.es/Products/Downstream_Equipment.aspx.
- 7.- Diquima. 2007. Clasificación y funcionamientos de los filtros. Contenido electrónico. Disponible en el sitio Web:
<http://www.diquima.upm.es/Investigacion/proyectos/chevic/catalogo/FILTROS/PAG6.htm>.
- 8.- El prisma. 2007. Operaciones de separación- ingeniería química. Disponible en el sitio web:
<http://www.elprisma.com/apuntes/curso.asp?id=5084>.
- 9.- Encarta 2007. Vapor de agua-MNS encarta. Disponible en sitio Web:
http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_761565577/Vapor_de_agua.html.
- 10.- Glosario de términos ambientales de EcoPortal.net, 1999-2005
EcoPortal.net. copyleft:
<http://www.ecoport.net/content/view/full/169/offset/1>
- 11.- Huiliano Pérez Y Picoli (2002) pagina
Web:
<http://html.rincondelvago.com/compost.html>.
- 12.- Monografías 2007. Alternativas sustentables para la producción de biogás. Sitio Web:
<http://www.monografias.com/trabajos48/biomasa/biomasa2.shtml>
- 13.- Monografías 2008. Diseño de un producto. Sitio Web:
<http://www.monografias.com/trabajos13/diseprod/diseprod.shtml>.
- 14.- Quiminet. 2007. Qué es la silica gel usos y aplicaciones. Disponible en el sitio Web
http://www.QuimiNet_com.mht.
- 15.- Rincondelvago. 2007. Instrumentos metereológicos. Disponible en el sitio Web:
<http://html.rincondelvago.com/instrumentos-metereologicos.html>.
- 16.- Producechiapas. 2006. Sitio Web:
<http://www.producechiapas.com.mx>.
- 17.- Totaline 2008. Filtros Deshidratadores. Disponible en el sitio Web:
http://www.totaline.com.ar/site/uploads/file_4-200652411195-0.pdf.

18.- Unicrom. 2007. Filtros: concepto, tipos, características. Disponible en el sitio Web http://www.unicrom.com/tut_filtros.asp.

19. Wikipedia. 2007. Propiedades del metano Sitio Web.<http://es.wikipedia.org/wiki/metano#propiedades>.

20.- Wikipedia 2008. Definición de gas. La enciclopedia libre. Sitio web.<http://es.wikipedia.org/wiki/Gas>.

21.- Wikipedia 2008. Vapor de agua La enciclopedia libre. Sitio web.http://es.wikipedia.org/wiki/Vapor_de_agua.