



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**  
**“ANTONIO NARRO”**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

Diseño y construcción de un sistema para  
compresión de biogás para su aplicación en  
pequeñas y medianas agroempresas.

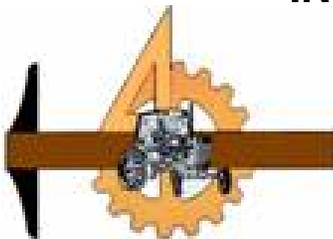
Por:

**ALBERDI RAFERI HIDALGO DE LEÓN**

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener Título de:

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre de 2007

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**  
**“ANTONIO NARRO”**  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Diseño y construcción de un sistema para compresión de biogás para su aplicación en pequeñas y medianas agroempresas.

Por:

**ALBERDI RAFERI HIDALGO DE LEÓN**

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

Asesor principal

---

Ing. Juan Arredondo Valdés

---

Dr. Juan Carlos Zúñiga Enríquez

Sinodal

---

M.C. Ramiro Luna Montoya

Coordinador de la División de Ingeniería

---

Dr. Raúl Rodríguez García

Buenavista, Saltillo. Coahuila, México  
Diciembre de 2007



2.2.3.3	Ácido sulfhídrico	-	-	-	-	-	-	14
2.2.3.4	Nitrógeno	-	-	-	-	-	-	16
2.2.4	Contaminación ambiental que generan el metano y dióxido de carbono	-	-	-	-	-	-	16
2.2.5	Características del biogás	-	-	-	-	-	-	17
2.2.6	Estudios que se han realizado sobre el biogás	-	-	-	-	-	-	17
2.2.7	Factores que afectan la producción de biogás	-	-	-	-	-	-	18
2.3	Compresores							
2.3.1	Definición de compresor	-	-	-	-	-	-	19
2.3.2	Clasificación de los compresores	-	-	-	-	-	-	20
2.3.2.1	Compresor alternativo o de émbolo	-	-	-	-	-	-	20
2.3.2.2	Compresores rotativos o centrífugos	-	-	-	-	-	-	22
2.3.3	Compresores de gas natural	-	-	-	-	-	-	25

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1	Ubicación del experimento	-	-	-	-	-	-	26
3.2	Materiales	-	-	-	-	-	-	27
3.2.1	Cabezal alternativo	-	-	-	-	-	-	27
3.2.2	Motor Eléctrico	-	-	-	-	-	-	28
3.2.3	Disipador de calor	-	-	-	-	-	-	28
3.3	Metodología	-	-	-	-	-	-	30
3.3.1	Estructura base o plataforma para el montaje del compresor							30
3.3.2	Disipadores de calor	-	-	-	-	-	-	31
3.3.3	Ensamble del compresor	-	-	-	-	-	-	32
3.3.4	Conexiones neumáticas y eléctricas	-	-	-	-	-	-	34
3.4	Herramienta y equipo utilizados para la construcción del compresor	-	-	-	-	-	-	35
3.5	Descripción y principio de funcionamiento del equipo	-	-	-	-	-	-	36
3.6	Costos	-	-	-	-	-	-	40
3.6.1	Costo de materiales	-	-	-	-	-	-	40

3.6.2	Costo de mano de obra	-	-	-	-	-	-	42
3.7	Mantenimiento y ajustes del equipo	-	-	-	-	-	-	42
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b>	-	-	-	-	-	-	<b>44</b>
<b>V.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	-	-	-	-	-	-	<b>45</b>
<b>VI.</b>	<b>LITERATURA CITADA</b>	-	-	-	-	-	-	<b>46</b>
<b>VII.</b>	<b>ANEXOS</b>	-	-	-	-	-	-	<b>48</b>

## AGRADECIMIENTOS

A **DIOS** por haberme dado la oportunidad de vivir y de llegar hasta donde estoy, gracias.

A mis **PADRES** por haberme apoyado tanto de manera incondicional, a ellos les debo todo, infinitamente gracias **PADRES**.

A la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**, por haberme dado la oportunidad de recibir una buena formación profesional.

A mi **ESPOSA Y MI HIJO**, por haberme comprendido y apoyado de manera incondicional todo el tiempo.

A mis **HERMANOS Aimir, Leticia Y Belly**, por todo el apoyo tanto moral y económico que han brindado.

A mis **Tíos y Primos**, por haberme apoyado de una u otra manera.

Al **Tío Coni**, quien desafortunadamente se quedó en el camino y no alcanzo a ver mi logro, sé que estaría muy orgulloso.

Al **Tío Iván**, que me dio sus consejos y todo el apoyo para seguir adelante.

A **mis Abuelos**, quienes nunca me negaron su apoyo, en especial a mi abuelo **Evelio** por los consejos tan efectivos que me dio y que desafortunadamente no alcanzo a verme realizado.

A **mis Suegros**, por haberme comprendido y apoyado en todo lo que fue necesario.

Al **Dr. Juan Carlos Zúñiga Enríquez**, por darme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo y contribuir en su proyecto. Es mi deber mencionar que el asesor principal del proyecto fue el Dr. Juan Carlos Zúñiga Enríquez, pero por requisitos administrativos del departamento de maquinaria agrícola para poder presentar el examen profesional fue necesario nombrar al Ing. Juan Arredondo Valdés como el asesor principal.

Al **Ing. Juan Arredondo Valdés**, quien me regalo parte de su tiempo para dirigir mi proyecto de tesis y además por la enseñanza que me brindó durante toda la carrera.

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

Al **M.C. Uriel Serna Fernández**, por la enseñanza que me dio durante mi estancia en la universidad, especialmente por enseñarme que el camino para encontrar respuestas es la investigación.

A todos los **Maestros** y personal del Departamento de Maquinaria Agrícola.

A mis **COMPAÑEROS** de la generación, **el Gordito, el Señor, el Tipo**, y todos los demás.

A mi **Amigo Margarito**, con quien discutía muchos temas que me ayudaron a comprender muchas cosas.

A mi **Amigo Walter**, quien me animo para que estudiara esta carrera.

A la **Fundación Produce Zacatecas** por el apoyo económico que aporto para llevar a cabo la construcción de mi trabajo de tesis.

A **Doña Rosita**, por haberme dado la oportunidad de vivir en su casa durante mi estancia en la ciudad de Saltillo.

A **TODOS** los que me ayudaron a lograr lo que he logrado, gracias.

## DEDICATORIA

Con todo el cariño y el debido respeto, para las personas que más quiero y admiro en esta hermosa vida que Dios me regaló.

A mi papá, **Sr. Grisdelí Hidalgo Calderón** la persona más buena y admirable de todo el mundo, quien a pesar de todos los errores que he cometido, siempre ha estado dispuesto a ayudarme, le debo todo desde la vida hasta lo que soy. Papá, eres mi ídolo, siempre has sabido tomar las mejores decisiones para seguir adelante, nunca dejaré de agradecerte lo bueno que has sido conmigo, si alguna vez volviera a nacer querría ser de nuevo tu hijo. Eres el mejor padre del mundo y mereces lo mejor de la vida.

A mi mamá, **Sra. Marlene de León de León** la mejor madre de este mundo, la persona que me dio la vida y además me llevó por el buen camino. Mamá, siempre has tenido la razón y has sabido lo que es mejor para nosotros tus hijos, eres una persona admirable que se merece todo lo bueno de este mundo. Eres la mejor madre del mundo.

A mi esposa **Rubiseli López Mérida**, la persona más buena y comprensiva que he conocido, la cual admiro por saber salir adelante a pesar de las condiciones en que hemos vivido durante los últimos años.

A mi hijo **Raferi Alejandro Hidalgo López**, el niño más lindo del mundo quien a pesar de que no he podido estar todo el tiempo con él, ha sabido esperar. Por todo esto merece ser recompensado.

A mis hermanos **Aimir Hidalgo de León, Leticia Hidalgo de León y Belly Edileyne Hidalgo de León**, los hermanos mas buenos y admirables que existen. Siempre han estado dispuestos a ayudarme sin recibir nada a cambio gracias a la educación que hemos recibido de nuestros padres.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Cabezal b2800	-	-	-	-	-	-	21
Figura 2.2. Compresores de paletas deslizantes	-	-	-	-	-	-	22
Figura 2.3. Compresor de lóbulos (roots)	-	-	-	-	-	-	23
Figura 2.4. Compresor de tornillos	-	-	-	-	-	-	24
Figura 2.5. Compresor de tornillo 500 SCFM	-	-	-	-	-	-	25
Figura 3.1. Laboratorio de biogás	-	-	-	-	-	-	26
Figura 3.2. Cabezal alternativo	-	-	-	-	-	-	27
Figura 3.3. Motor eléctrico 1 hp	-	-	-	-	-	-	28
Figura 3.4. Disipador tubular de calor	-	-	-	-	-	-	28
Figura 3.5. Resultado final del ensamble del compresor	-	-	-	-	-	-	33

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Composición del biogás	-	-	-	-	-	11
Tabla 2.2. Gases que componen el biogás	-	-	-	-	-	11
Tabla 2.3. Mezcla de gases que forman el biogás	-	-	-	-	-	12
Tabla 3.1. Materiales utilizados en la construcción del compresor	-	-	-	-	-	29
Tabla 3.2. Herramienta y equipo	-	-	-	-	-	35
Tabla 3.3. Equipo de cómputo y software	-	-	-	-	-	36
Tabla 3.4. Características del motor eléctrico	-	-	-	-	-	36
Tabla 3.5. Costo de los materiales	-	-	-	-	-	40
Tabla 3.6. Costo de mano de obra	-	-	-	-	-	42

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Problemática de la aplicación del biogás a los sistemas de calefacción.

En los últimos años se observa que en México el costo de la energía se ha incrementado considerablemente vía precios de los combustibles en general, así como del gas natural (gas metano) y de la electricidad. Esta situación es particularmente grave en la agricultura tanto nacional como regional, pues al ser estos energéticos un insumo indispensable en las agroempresas, sus actividades se ven altamente afectadas al incrementarse los costos de producción, lo que provoca baja rentabilidad y escasa competitividad en un mercado globalizado.

El biogás que se produce directamente en el biodigestor sale con una presión irregular muy baja, aproximadamente de 3.4474 kPa, por lo tanto no puede aplicarse directamente a los quemadores ya que estos requieren de una presión constante, entre los 0.9997 y 1.5168 kPa, para su correcto funcionamiento. Para esto se hace necesaria la aplicación de una herramienta capaz de elevar la presión del biogás de forma eficaz y sin representar algún riesgo tanto para las instalaciones como para quienes permanecen en el área de trabajo.

El biogás producido en el biodigestor es almacenado directamente en una bolsa de hule a una presión de aproximadamente 3.4474 kPa, por lo tanto, si queremos almacenar grandes volúmenes de biogás bajo esta presión, necesitaremos de bolsas mas grandes, pero ocuparan mayores espacios. Es por eso que se hace necesario almacenarlo en recipientes de alta presión para disminuir el volumen.

De la misma manera, si se desea aplicar el biogás a nivel industrial, necesitamos grandes volúmenes y mayor presión para abastecer las demandas en los sistemas de producción; estas condiciones solo podemos lograrlas con un

adecuado sistema de compresión para poder almacenar mayor volumen de biogás en recipientes de alta presión.

Aunque existen en el mercado muchos tipos de compresores tanto de aire como de gases, no podemos aplicar directamente uno de ellos por dos razones: primeramente un compresor de aire de los más comunes que funcionan a base de un cilindro y un pistón (alternativo), representaría un riesgo alto debido a la velocidad de funcionamiento para la que son diseñados, la cual provocaría que se concentren grandes cantidades de calor en su interior y esto puede provocar una severa explosión en el sistema, ya que el biogás tiene un alto contenido de metano. Por otra parte, un compresor centrífugo que funciona a base de turbinas sería ideal para lo que necesitamos, pero desafortunadamente los costos son demasiado altos debido a lo cual solo se aplican para procesos industriales, además de ser muy voluminosos y requieren grandes cantidades de potencia para funcionar. Dadas estas características se hace muy difícil aplicar estos sistemas a pequeños productores en el campo agrícola.

## **1.2 Antecedentes.**

Yanet y Roger, 2005, en su trabajo mencionan que para la compresión del gas natural se utilizan compresores centrífugos y reciprocantes. Aunque en su trabajo se enfocan más a los centrífugos, no dejan de mencionar que los reciprocantes son muy efectivos pero tienen algunas desventajas en cuanto al manejo de caudales. Los reciprocantes trabajan con menos caudales pero pueden proporcionar mayores presiones y requerir de poco mantenimiento.

Actualmente el uso de combustibles se ha convertido en el principal factor para llevar a cabo la producción, sin embargo el costo de estos se ha incrementado de manera considerable y es precisamente por eso que muchos

productores han decidido dejar de producir o han cambiado de cultivos que necesiten menos cantidades de energía para su desarrollo.

Por ejemplo, el precio del gas butano es de \$5.19 pesos/litro al mes de noviembre de 2007, contra un precio de \$ 4.75 pesos/litro al inicio del año, lo que significa un incremento de \$0. 44 pesos, o sea poco más del 8.47%, precios que afectan drásticamente la rentabilidad de la agroempresa. (Tipo de cambio 10.89 pesos/dólar americano).

La economía de la agroempresa se mejora considerablemente con la implementación de un sistema de biogás en sus sistemas de producción, el cual debe hacerse pensando en los pocos recursos con que el propietario cuenta.

Para un sistema completo de biogás con aplicación agroindustrial, es necesario comprimir el gas para poder aplicarlo en una amplia variedad de procesos de producción como calor, combustible en motores, entre otros. Para ello se requiere de un compresor que sea capaz de elevar la presión del biogás al menos a 689.48 kPa sin poner en riesgo la integridad las personas que trabajan alrededor.

El compresor a diseñar deberá reunir las características siguientes:

- Bajo costo de construcción.
- Bajo costo de mantenimiento.
- Seguridad para el personal que labora en el proceso de producción de biogás.

Por lo anterior, el presente trabajo tiene los siguientes:

## **1.3 Objetivos.**

### **1.3.1 Objetivos generales.**

1. Diseñar un sistema de compresión para biogás con aplicación a baja escala en el medio rural.
2. Que integre las siguientes características:
  - ✓ De bajo costo de construcción.
  - ✓ Que requiera de poco mantenimiento.
  - ✓ De fácil operación.
  - ✓ Que eleve la presión en al menos 689.48 kPa.
  - ✓ Que no represente ningún riesgo para las instalaciones, los operadores y el personal en general.

### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Eficientar la producción en las agroempresas.
- Bajar los costos por consumo de energía en las agroempresas.
- Hacer disponible el biogás para su aplicación en quemadores.

## **1.4 Hipótesis.**

Ha1: Utilizando y haciendo arreglos a los equipos convencionales de compresión es posible aumentar la presión del biogás en el sistema de conducción.

Ha2: Utilizando estos sistemas convencionales de compresión no se tienen problemas de explosividad en el sistema.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Gases.

#### 2.1.1 Definición de gas.

La denominación “gas” es introducida al léxico en el siglo XVII por el médico y químico holandés Juan Bautista Van Helmont. Dado que el biogás esta compuesto por una mezcla de gases y antes de explicar todo lo referente sobre el biogás, es necesario mencionar algunas cosas sobre los gases, por esta razón Sokolovsky, (2006), define un gas como cualquier fluido aeriforme que a presión y temperatura ordinaria ocupa el espacio disponible en un recipiente que lo contiene, es compresible y expansible, la constante repulsión de sus moléculas en movimiento de donde proviene su expansibilidad, lo hace un fluido elástico, carece de forma propia, adopta la forma de acuerdo al deposito que lo contiene, ejerciendo de adentro hacia afuera una presión más o menos fuerte en virtud de una dominada “tensión o fuerza de los gases”. Física y químicamente puede tener propiedades activas o agresivas, o bien ser inerte o inocuo. En la naturaleza se encuentran fluidos de este tipo que, combinados con el oxígeno y en condiciones adecuadas, entran en combustión, con producción de calor o luz, de intensidad variable en función de los componentes que los integren; estos fluidos se les denominan “gases combustibles”.

#### 2.1.2 Propiedades de los gases.

El sitio Web monografías (2006), cita que los gases tienen 3 propiedades características: (1) son fáciles de comprimir, (2) se expanden hasta llenar el contenedor, y (3) ocupan más espacio que los sólidos o líquidos que los conforman.

### 2.1.3 Ley de los gases.

La misma Sokolovsky, (2006), cita las siguientes leyes de los gases:

La ley de Boyle – Mariotte.

Relaciona inversamente las proporciones de volumen y presión de un gas, manteniendo la temperatura constante:

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2$$

La ley de Gay - Lussac.

Afirma que el volumen de un gas, a presión constante, es directamente proporcional a la temperatura absoluta:

$$V_1/T_1 = V_2/T_2$$

La ley de Charles.

Sostiene que, a volumen constante, la presión de un gas es directamente proporcional a la temperatura absoluta del sistema:

$$P_1/T_1 = P_2/T_2$$

En ambos casos la temperatura se mide en grados kelvin ( $273 \text{ }^\circ\text{K} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ), ya que no podemos dividir por cero, no existe resultado.

Ley de Dalton.

El mismo sitio Web monografías, (2006), cita la ley de Dalton la cual, establece que en una mezcla de gases cada gas ejerce su presión como si los restantes gases no estuvieran presentes. La presión específica de un determinado gas en una mezcla se llama “presión parcial” (p). La presión total de la mezcla se calcula simplemente sumando las presiones parciales de todos los gases que la componen. Por ejemplo, la presión atmosférica es:

Presión atmosférica (760 mm de Hg) =  $p_{\text{O}_2}$  (160 mm Hg) +  $p_{\text{N}_2}$  (593 mm Hg) +  $p_{\text{CO}_2}$  (0.3 mm Hg) +  $p_{\text{H}_2\text{O}}$  (alrededor de 8 mm de Hg).

Donde:

$p$  = presión parcial, mm de Hg = milímetros de mercurio,  $O_2$  = oxígeno,  $N_2$  = nitrógeno,  $CO_2$  = dióxido de carbono,  $H_2O$  = agua.

Ley de Avogadro.

La misma monografía, (2006), cita la ley de Avogadro quien, sugirió que a una temperatura y presión dada, el número de partículas en volúmenes iguales de gases era el mismo, e introdujo también la distinción entre átomos y moléculas. Cuando el oxígeno se combinaba con hidrógeno, un átomo doble de oxígeno (molécula en nuestros términos) se dividía, y luego cada átomo de oxígeno se combinaba con dos átomos de hidrógeno, dando la fórmula molecular de agua ( $H_2O$ ), de oxígeno ( $O_2$ ) e hidrógeno ( $H_2$ ), respectivamente.

#### 2.1.4 Ley de los gases Ideales.

En uno de sus trabajos Sokolovsky, (2006), hace referencia sobre la teoría atómica, la cual menciona que las moléculas pueden tener o no cierta libertad de movimiento en el espacio; estos grados de libertad microscópicos están asociados con el concepto de orden macroscópico. La libertad de movimiento de las moléculas de un sólido está restringida a pequeñas vibraciones; en cambio, las moléculas de un gas se mueven de forma aleatoria, y sólo están limitadas por las paredes del recipiente que las contiene.

Se han desarrollado leyes empíricas que relacionan las variables macroscópicas en base a las experiencias en laboratorio realizadas. En los gases ideales, estas variables incluyen la Presión ( $P$ ), el Volumen ( $V$ ) y la Temperatura ( $T$ ).

#### 2.1.5 Ley universal de los gases.

El mismo Sokolovsky, (2006), menciona que de las tres primeras leyes, citadas anteriormente, se deduce la “ley universal de los gases”:

$$P_1/T_1 = P_2/T_2 \wedge V_1/T_1 = V_2/T_2 \wedge P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \Rightarrow P_1 \cdot V_1/T_1 = P_2 \cdot V_2/T_2$$

### 2.1.6 Teoría Cinética de los Gases.

Ahí mismo Sokolovsky, (2006), menciona que el comportamiento de los gases, enunciadas mediante las leyes anteriormente descritas, puede explicarse satisfactoriamente admitiendo la existencia del átomo. El volumen de un gas, refleja simplemente la distribución de posiciones de las moléculas que lo componen. Más exactamente, la variable macroscópica ( $V$ ) representa el espacio disponible para el movimiento de una molécula. La presión de un gas, que puede medirse con manómetros situados en las paredes del recipiente, registra el cambio medio de momento lineal que experimentan las moléculas al chocar contra las paredes y rebotar en ellas.

La temperatura del gas, es proporcional a la energía cinética media de las moléculas, por lo que depende del cuadrado de su velocidad.

### 2.1.7 Concepto de gas ideal y diferencia entre gas ideal y real.

En la misma obra, el sitio Web monografías, (2006), menciona que los gases que se ajusten a estas suposiciones se llaman “gases ideales” y aquellas que no se les llaman “gases reales”, o sea, hidrógeno ( $H_2$ ), oxígeno ( $O_2$ ), nitrógeno ( $N_2$ ) y otros. Por esta razón expone los siguientes parámetros:

- “Un gas esta formado por partículas llamadas moléculas”.

Dependiendo del gas, cada molécula esta formada por un átomo o un grupo de átomos. Si el gas es un elemento o un compuesto en su estado estable, consideramos que todas sus moléculas son idénticas.

- “Las moléculas se encuentran animadas de movimiento aleatorio y obedecen las leyes de Newton del movimiento”.

Las moléculas se mueven en todas direcciones y a velocidades diferentes. Al calcular las propiedades del movimiento suponemos que la mecánica newtoniana se puede aplicar en el nivel microscópico. Como para todas nuestras suposiciones, esta mantendrá o desechara, dependiendo de sí los hechos experimentales indican o no que nuestras predicciones son correctas.

- “El número total de moléculas es grande”.

La dirección y la rapidez del movimiento de cualquiera de las moléculas pueden cambiar bruscamente en los choques con las paredes o con otras moléculas. Cualquiera de las moléculas en particular, seguirá una trayectoria de zigzag, debido a dichos choques. Sin embargo, como hay muchas moléculas, suponemos que el gran número de choques resultante, mantiene una distribución total de las velocidades moleculares con un movimiento promedio aleatorio.

- “El volumen de las moléculas es una fracción despreciablemente pequeña del volumen ocupado por el gas”.

Aunque hay muchas moléculas, estas son extremadamente pequeñas. Sabemos que el volumen ocupado por un gas se puede cambiar en un margen muy amplio, con poca dificultad y que, cuando un gas se condensa, el volumen ocupado por el líquido pueden ser miles de veces menor que la del gas cuando se condensa. De aquí que nuestra suposición sea posible.

- “No actúan fuerzas apreciables sobre las moléculas, excepto durante los choques”.

En el grado de que esto sea cierto, una molécula se moverá con velocidad uniformemente a los choques. Como hemos supuesto que las moléculas sean tan pequeñas, la distancia media entre ellas es grande en comparación con el tamaño de una de las moléculas. De aquí que supongamos que el alcance de las fuerzas moleculares es comparable al tamaño molecular.

- “Los choques son elásticos y de duración despreciable”.

En los choques entre las moléculas con las paredes del recipiente se conserva el ímpetu y (suponemos), la energía cinética. Debido a que el tiempo de choque es despreciable comparado con el tiempo que transcurre entre el choque de moléculas, la energía cinética que se convierte en energía potencial durante el choque, queda disponible de nuevo como energía cinética, después de un tiempo tan corto, que podemos ignorar este cambio por completo.

## 2.2 Biogás.

### 2.2.1 Definición de biogás.

Una vez expuesto cosas generales de los gases y compresores, el sitio Web Wikipedia, (2005), cita una definición de biogás, la cuál, se menciona a continuación:

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 bacterias, generando biogás.

G. Pablo, (1990), menciona otra definición, la cuál, lo define de la siguiente manera: gas combustible, mezcla de metano con otras moléculas, formado en reacciones de descomposición de la materia orgánica.

El sitio Web ecoportal.net, (2006), cita otra definición, la cual, lo define de la siguiente manera: Gas producido en fermentación de los residuos domiciliarios, en general tiene un alto contenido de metano, es susceptible de ser usado con fines de generación eléctrica o de uso domiciliario.

El sitio Web textoscientíficos, (2006), define biogás de la siguiente manera: Mezcla constituida fundamentalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), pequeñas cantidades de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{SH}_2$ ) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ ). Constituye un proceso vital dentro del ciclo de la materia orgánica en la naturaleza.

La misma fuente, define por segunda vez el término biogás, como sigue: Mezcla constituida por metano ( $\text{CH}_4$ ), en una proporción que oscila entre un 50 a un 70% y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $\text{SH}_2$ ).

### 2.2.2 Componentes del biogás.

El mismo sitio Web wikipedia, (2006), menciona que la composición del biogás es variable pero en líneas generales sería como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Composición del biogás según wikipedia, (2006).

Gas	Fórmula	%
Metano	CH <sub>4</sub>	45 - 55
Anhídrido carbónico	CO <sub>2</sub>	40 - 50
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	2 - 3
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	1.5 - 2

El sitio Web producechiapas, (2006), cita que el biogás esta formado de metano (CH<sub>4</sub>), bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y que puede deducirse su poder calorífico tomando en cuenta de que en su composición incluye de 60 a 70 % de metano (CH<sub>4</sub>) y 30 a 40 % de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el cual será del orden de 5780 a 6230 Kcal / m<sup>3</sup>. La composición completa del biogás se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Gases que componen el biogás resultantes de la fermentación bacteriana.

Gas	Fórmula	%
Metano	CH <sub>4</sub>	60-70
Bióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	30-40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	5-10
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	4-6
Acido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	Trazas

Fuente: (producechiapas.com, 2006).

El sitio Web rincondelvago, (2000), cita la composición del biogás (cuadro 2.3), en el que podemos apreciar los valores en porcentajes de los distintos gases, pudiendo depender de los factores que en el punto siguiente se describen:

Tabla 2.3. Mezcla de gases que forman el biogás.

GAS	SÍMBOLO	%
Metano	CH <sub>4</sub>	55 - 80
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	45 - 20
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0 - 10
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0.1 - 1
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.5 - 10
Monóxido de carbono	CO	0 - 0.1
Gases diversos	SH <sub>2</sub> ; NH <sub>3</sub> ; Cn - H <sub>2</sub> n	1 - 5
Vapor de agua	H <sub>2</sub> O	Variable

Fuente: (rincondelvago.com, 2000).

### 2.2.3 Características de algunos de los componentes del biogás.

#### 2.2.3.1 Metano.

James L. Walsh, (2006), en el manual de biogás cita que el metano es el hidrocarburo alcano más sencillo que a temperatura ambiente se encuentra en forma de gas. Su fórmula química es CH<sub>4</sub>.

Cada uno de los átomos de hidrógeno (H<sub>2</sub>) está unido al carbono por medio de un enlace covalente. Es una sustancia no polar que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias. Es incoloro y apenas soluble en agua en su fase líquida. En la naturaleza se produce como producto final de la putrefacción anaerobia de las plantas, este proceso natural se puede aprovechar para producir

biogás. Puede constituir hasta el 97 % del gas natural. En las minas de carbón se le denomina “grisú” y es muy peligroso por su facilidad para inflamarse.

Fuente de metano.

Los orígenes principales del metano son:

- Descomposición de los residuos orgánicos.
- Fuentes naturales como pantanos: 23 %.
- Extracción de combustibles fósiles: 20 % (el metano tradicionalmente se quemaba y emitía directamente. Hoy en día se intenta almacenar en lo posible para reaprovecharlo 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 %.
- Combustión anaeróbica de la biomasa .

El 60 % de las emisiones en todo el mundo es de origen antropogénico. Vienen principalmente de actividades agrícolas y otras actividades humanas. La concentración de este gas se ha incrementado de 0.8 a 1.7 ppm en los últimos 200 años.

Propiedades del metano.

- Calorías por gramo: 12 Kcal.
- Calorías por gramo de CO<sub>2</sub>: 4.5 Kcal.

#### 2.2.3.2 Bióxido de carbono.

El mismo wikipedia, (2006), cita el dióxido de carbono, también denominado “bióxido de carbono”, “óxido de carbono (IV)” y “anhídrido carbónico”, como es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono. Su fórmula química es CO<sub>2</sub>. Muchos seres vivos al respirar toman

oxígeno de la atmósfera y devuelven dióxido de carbono. Es una molécula lineal y apolar.

El dióxido de carbono es uno de los gases de efecto invernadero que contribuye a que la Tierra tenga una temperatura habitable, siempre y cuando se mantenga en unas cantidades determinadas. Sin dióxido de carbono, la Tierra sería un bloque de hielo. Por otro lado, un exceso impide la salida de calor al espacio y provoca un calentamiento excesivo del planeta, fenómeno conocido como “efecto invernadero”. En los últimos años la cantidad de dióxido de carbono ha aumentado mucho y eso contribuye al calentamiento global del planeta.

Propiedades del dióxido de carbono.

Propiedades físicas.

Tiene algunas características peculiares, pues carece de fase líquida a la presión atmosférica normal; el sólido sublima directamente a la fase gaseosa.

Para obtener la fase líquida a la temperatura ambiente es necesario aplicar una presión de 6.7 megapascuales (MPa), (67 veces la presión atmosférica normal).

Propiedades químicas.

Agricultura. Por su papel en el crecimiento de las plantas, a veces se utiliza como abono. Es más común en acuarios.

Ingeniería. Se utiliza como agente extintor eliminando el oxígeno para el fuego. También en refrigeración como una clase de líquido refrigerante en máquinas frigoríficas o congelado como hielo seco.

### 2.2.3.3 Ácido sulfhídrico.

El mismo wikipedia, (2006), menciona que el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) es un ácido inorgánico, formado por la disolución y disociación en agua del sulfuro de hidrógeno (un gas que huele a huevos putrefactos). Es decir que se le llama ácido sulfhídrico cuando se halla disuelto en agua. Con bases fuertes forma sales, los sulfuros. En estado gaseoso se le conoce con el nombre de sulfuro de hidrógeno. Su punto de ebullición es de 212.86 °K.

El ácido sulfhídrico ocurre naturalmente en el petróleo crudo, gas natural, gases volcánicos y manantiales de aguas termales. También puede ocurrir como resultado de la degradación bacteriana de materia orgánica en condiciones anaeróbica. Se genera a partir de algunos aminoácidos o por la reducción de sulfato presente por los microorganismos sulfatoreductores. Es, además, producto de los desperdicios de animales y humanos. Las bacterias que se encuentran en su boca y el tracto gastrointestinal producen ácido sulfhídrico al degradar materiales que contienen proteínas de origen animal o vegetal.

El ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) es un gas inflamable, incoloro con un olor característico a huevos podridos. Se le conoce comúnmente como “ácido hidrosulfúrico” o “gas de alcantarilla”. La gente puede detectar su olor a niveles muy bajos. Es uno de los principales compuestos causantes de las molestias por malos olores.

#### Toxicidad.

La toxicidad del ácido sulfhídrico es parecida a la del ácido cianhídrico. La causa por la cual a pesar de la presencia más masificada de este compuesto hay relativamente pocos muertos causados por el mal olor con que va acompañado. Sin embargo, a partir de los 50 ppm tiene un efecto narcotizante sobre las células receptoras del olfato y las personas afectadas ya no perciben el hedor. A partir de los 100 ppm se puede producir la muerte. Como la densidad del sulfhídrico es mayor que la del aire se suele acumular en lugares bajos como pozos, etc. donde puede causar la muerte. Una primera víctima se cae inconsciente y luego son afectados también todos los demás que van en su rescate sin el equipo de protección necesario. El sulfhídrico parece actuar sobre todo en los centros metálicos de las enzimas, bloqueándolas e impidiendo de esta manera su funcionamiento.

#### 2.2.3.4 Nitrógeno.

Continuando con el mismo wikipedia, (2006), menciona que es un elemento químico de número atómico 7, con símbolo N, también llamado “ázo”. Antiguamente se usó también (Az), como símbolo del nitrógeno y en condiciones normales, forma un gas diatómico que constituye el 78 % del aire atmosférico.

#### Características principales.

Es un gas inerte, ausencia de metal, incoloro, inodoro e insípido que constituye aproximadamente las cuatro quintas partes del aire atmosférico, si bien no interviene en la combustión ni en la respiración. Tiene una elevada electronegatividad (3 en la escala de Pauling) y 5 electrones en el nivel más externo comportándose como trivalente en la mayoría de los compuestos que forma. Se condensa a 77 °K y se solidifica a 63 °K empleándose comúnmente en aplicaciones criogénicas.

#### 2.2.4 Contaminación ambiental que generan el metano y dióxido de carbono.

El mismo sitio Web wikipedia, (2006), cita que el metano (CH<sub>4</sub>), es perjudicial por su gran contribución al efecto invernadero. Tiene una capacidad de retención de calor 300 veces superior a la del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

El mismo wikipedia, (2006), menciona que el dióxido de carbono no es tóxico en sí, y de hecho favorece el crecimiento de las plantas, los ecologistas han puesto en evidencia en los años 1990 que el exceso de dióxido de carbono es una forma más de contaminación ambiental, ya que es el principal responsable del proceso de calentamiento global. Por ello, el “Protocolo de Kyoto”, en 1999 estableció un calendario de reducción de las emisiones de este gas.

### 2.2.5 Características del biogás.

Enríquez Bruno (1997), cita que el biogás es incoloro por lo que es difícil detectarlo; pero por tener una densidad menor que la del aire su peligrosidad asfixiante y explosiva es mínima. La temperatura crítica del metano es de 82 °C y una presión crítica de 4785.6 kPa. Característica que obliga a utilizar el gas en su estado natural, ya que el equipo para licuarlo consume demasiada energía y lo hace incosteable en unidades de poca producción.

El mismo sitio web rincondelvago, (2000), cita un segundo panorama a cerca de las características físicas del biogás: Menciona que teniendo en cuenta todas las mezclas de los gases, el biogás puede presentar las siguientes características físicas:

- Grado de inflamación: 6 - 12 % de volumen de aire.
- Temperatura de inflamación: 600 °C.
- Presión crítica: 8200 kPa.
- Temperatura crítica: - 82.5 °C
- Densidad: 1.2 kg / m<sup>3</sup>.
- Poder calorífico del metano (CH<sub>4</sub>), 90 %: 7600 kcal / m<sup>3</sup>.

### 2.2.6 Estudios que se han realizado sobre el biogás.

(Rodríguez et al, 1997), citan los trabajos realizados por Mandujano, (1979), Cowley y Wase, (1981) y Mandujano y Martínez, (1981), en los cuales estos autores sostienen que el estiércol de ganado presenta alta concentración de nitrógeno que favorece el incremento acelerado de la flora bacteriana en comparación con la gallinaza.

El sitio web consumer, (2007), cita que un equipo de científicos de la Universidad de Cantabria, presentaba recientemente un nuevo proceso de tratamiento y gestión de los residuos del ganado vacuno lechero que reduce la contaminación y aprovecha los nutrientes del estiércol, al tiempo que permite obtener energía renovable a través del biogás generado. Estos investigadores ya

han iniciado contactos con el sector ganadero y con las consejerías de Medio Ambiente y de Ganadería, Agricultura y Pesca del gobierno de Cantabria para estudiar como llevar este proyecto a la práctica. Estos expertos aseguran que si se sigue apostando por las energías renovables, la mejora de las tecnologías y el incremento de este tipo de plantas para obtener biogás y su posterior utilización es cuestión de tiempo. La misma fuente, menciona que en Japón, el año pasado presentaban un sistema que consigue fermentar también el hidrógeno, además del metano, separadamente, lo que amplían los residuos a utilizar para la obtención de biogás, como los desechos de las cocinas, por ejemplo.

#### 2.2.7 Factores que afectan la producción de biogás.

El sitio Web monografías, (2006), establece que el proceso de producción de biogás depende de varios parámetros que afectan la actividad bacteriana:

- Temperatura.
- Tiempo de retención.
- Relación Carbono / Nitrógeno.
- Porcentaje de sólidos.
- Factor potencial hidrógeno (pH).

El sitio web textoscintificos, (2006), menciona que la actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico, se ve afectada por diversos factores los cuales, ya han sido mencionados por el sitio web monografías, (2005) y agrega otros tres factores que pueden afectar la producción de biogás. Debido a que cada grupo de bacterias que intervienen en las distintas etapas del proceso responden en forma diferencial a esos cambios no es posible dar valores cualitativos sobre el grado que afecta cada uno de ellos a la producción de gas en forma precisa.

Entre los factores más importantes a tenerse en cuenta tenemos los siguientes:

- Tipo de sustrato (nutrientes disponibles).
- Temperatura del sustrato.

- Tiempo de retención hidráulico.
- Nivel de acidez (pH).
- Relación Carbono / Nitrógeno.
- Concentración del sustrato; el agregado de inoculantes.
- Grado de mezclado.
- Presencia de compuestos inhibidores del proceso.

## **2.3 Compresores.**

### 2.3.1 Definición de compresor.

El sitio Web wikipedia, (2007), cita que un compresor de gas es una máquina motora, que trabaja entregándole energía a un fluido compresible. Ésta energía es adquirida por el fluido en forma de energía cinética y presión (energía de flujo).

El sitio Web rincondelvago, (2007), menciona que los compresores son máquinas de flujo continuo en donde se transforma la energía cinética (velocidad) en presión. Por su parte el sitio Web proyectosfindecarrera (2005), define a un compresor como una máquina que eleva la presión de un gas, un vapor o una mezcla de gases y vapores. La presión del fluido se eleva reduciendo el volumen específico del mismo durante su paso a través del compresor.

Jorge González Delfín, (2002), define a un compresor como un instrumento mecánico que reduce el volumen ocupado por un gas (aire) a través de cierta presión ejercida sobre él. Esta presión se obtiene mediante un trabajo mecánico que reciben los elementos que componen el compresor, para así dar cumplimiento a su funcionamiento. El sitio Web wordreference, (2006), menciona que un compresor es un aparato o máquina que sirve para comprimir fluidos y algunos sólidos poco compactos.

### 2.3.2 Clasificación de los compresores.

Faires, (1999), dice que los compresores son de dos tipos generales: el de movimiento aleatorio (o de cilindro y embolo) y el de movimiento rotativo (ya sea de acción directa, o bien, centrífuga). El sitio Web proyectosfindecarrera (2005) establece que comparados con turbo soplantes y ventiladores centrífugos o de circulación axial, en cuanto a la presión de salida, los compresores se clasifican generalmente como maquinas de alta presión, mientras que los ventiladores y soplantes se consideran de baja presión.

El sitio Web uamerica, (2007), cita que el compresor centrífugo es el primer diseño empleado con éxito en las turbinas de gas. Está conformado por tres partes principales conocidas como rodete, difusor y múltiple de distribución, cada uno con una función específica en el proceso de compresión.

Edwin Alejandro, (2004), menciona que al clasificarse según el indicio constructivo, los compresores volumétricos se subdividen en los de émbolo y de rotor; y los de paletas en centrífugos y axiales. Es posible la división de los compresores en grupos de acuerdo con el género de gas que se desplaza, del tipo de transmisión y de la destinación del compresor.

#### 2.3.2.1 Compresor alternativo o de émbolo.

El mismo Edwin Alejandro, (2004) *ibid* menciona también que los compresores alternativos funcionan con el principio adiabático mediante el cual se introduce el gas en el cilindro por las válvulas de entrada, se retiene y comprime en el cilindro y sale por las válvulas de descarga, en contra de la presión de descarga. Los compresores alternativos tienen piezas en contacto, como los anillos de los pistones con las paredes del cilindro, resortes y placas o discos de válvulas que se acoplan con sus asientos y entre la empaquetadura y la biela. Todas estas partes están sujetas a desgaste por fricción. Los compresores alternativos pueden ser del tipo lubricado o sin lubricar. Si el proceso lo permite, es

preferible tener un compresor lubricado, porque las piezas durarán más. Los problemas más grandes en los compresores con cilindros lubricados son la suciedad y la humedad, pues destruyen la película de aceite dentro del cilindro. Los compresores alternativos deben tener, de preferencia motores de baja velocidad, de acoplamiento directo, en especial si son de más de 223.710 Kw; suelen ser de velocidad constante (figura 2.1).



Figura 2.1. Cabezal b2800 para compresores alternativos, marca abac, con capacidad hasta 2 hp **[cabezal-b2800]**.

El mismo Edwin Alejandro, (2004), los compresores alternativos de embolo se clasifican:

Según la fase de compresión en:

- Monofásico o de simple efecto, cuando el pistón realiza una sola fase de compresión (la acción de compresión la ejecuta una sola cara del pistón).
- Bifásico, de doble efecto o reciprocante cuando el pistón realiza doble compresión (la acción de compresión la realizan ambas caras del pistón).

Según las etapas de compresión se clasifican en:

- Compresores de una etapa cuando el compresor realiza el proceso de compresión en una sola etapa.
- Compresores de varias etapas cuando el proceso de compresión se realiza en más de una etapa por ejemplo una etapa de baja presión y una etapa de alta presión.

### 2.3.2.2 Compresores rotativos o centrífugos.

Los compresores rotativos o centrífugos se clasifican en:

- Compresores de paletas deslizantes (Figura 2.2).

Este tipo de compresores consiste básicamente de una cavidad cilíndrica dentro de la cual está ubicado en forma excéntrica un rotor con ranuras profundas, unas paletas rectangulares se deslizan libremente dentro de las ranuras de forma que al girar el rotor la fuerza centrífuga empuja las paletas contra la pared del cilindro. El gas al entrar, es atrapado en los espacios que forman las paletas y la pared de la cavidad cilíndrica es comprimida al disminuir el volumen de estos espacios durante la rotación.



Figura 2.2. Compresores de paletas deslizantes.

- Compresores de pistón líquido.

El compresor rotatorio de pistón de líquido es una máquina con rotor de aletas múltiple girando en una caja que no es redonda. La caja se llena, en parte de agua y a medida que el rotor da vueltas, lleva el líquido con las paletas formando una serie de bolsas. Como el líquido, alternamente sale y vuelve a las bolsas entre las paletas (dos veces por cada revolución). A medida que el líquido sale de la bolsa la paleta se llena de aire. Cuando el líquido vuelve a la bolsa, el aire se comprime.

- Compresores de lóbulos (Roots) (Figura 2.3).

Se conocen como compresores de doble rotor o de doble impulsor aquellos que trabajan con dos rotores acoplados, montados sobre ejes paralelos, para una misma etapa de compresión. Una máquina de este tipo muy difundida es el compresor de lóbulos mayor conocida como "Roots", de gran ampliación como sobre alimentador de los motores diesel o sopladores de gases a presión moderada. Los rotores, por lo general, de dos o tres lóbulos están conectados mediante engranajes exteriores. El gas que entra al soplador queda atrapado entre los lóbulos y la carcasa; con el movimiento de los rotores de la máquina, por donde sale, no pudiendo regresarse debido al estrecho juego existente entre los lóbulos que se desplazan por el lado interno.

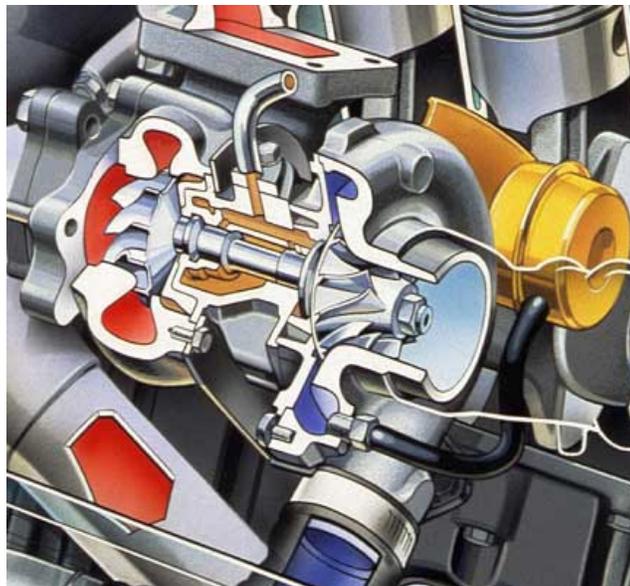


Figura 2.3. Compresor de lóbulos (roots), utilizado en los motores diesel.

- Compresores de tornillo (Figura 2.4).

La compresión por rotores paralelos puede producirse también en el sentido axial con el uso de lóbulos en espira a la manera de un tornillo sin fin. Acoplando dos rotores de este tipo, uno convexo y otro cóncavo, y haciéndolos girar en sentidos opuestos se logra desplazar el gas, paralelamente a los dos ejes, entre los lóbulos y la carcasa. Las revoluciones sucesivas de los lóbulos reducen progresivamente el volumen de gas atrapado y por consiguiente su presión, el gas así comprimido es forzado axialmente por la rotación de los lóbulos helicoidales hasta 1ª descarga.

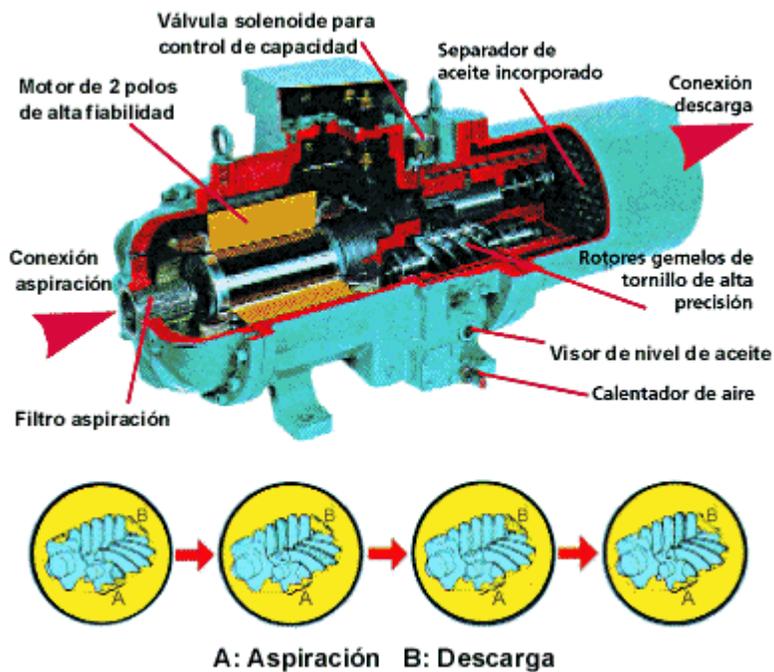


Figura 2.4. Compresor de tornillos.

### 2.3.3 Compresores de gas natural.

Yanet Villalobos Morales, *et al*, (2005), mencionan que en la industria del gas natural se manejan dos tipos de compresores los cuales son los centrífugos y reciprocantes. Los compresores centrífugos (Fig. 2.5), son los más comúnmente utilizados en la industria ya que su construcción sencilla y libre de mantenimiento permite un funcionamiento continuo durante largos periodos y porque pueden trabajar con grandes caudales lo que no pueden hacer los compresores reciprocantes, ya que estos se limitan a una capacidad mucho más pequeña de caudal.



Figura 2.5. Compresor de tornillo, 14158.42 l/min, presiones de 689.48-1379 kPa (100-200 psi).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de biogás ubicado en el departamento de Agrotecnia, de la sede de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Figura 3.1), a siete kilómetros al sur de la ciudad de Saltillo, capital del estado de Coahuila, en las coordenadas geográficas 25° 22' de latitud norte y 101° 00' de longitud oeste. Su altura sobre el nivel del mar es de 1742 m.



Figura 3.1. Laboratorio de biogás, departamento de Agrotecnia, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

El clima en el municipio es de subtipos secos semicálidos; 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; al centro tiene un rango de 400 a 500 milímetros y al norte de 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 suroeste; y en el resto de 40 a 60 días y granizadas de uno a dos días en la parte sureste y de 0 a un día en el resto. (Enciclopedia de los municipios de México, 2007).

### **3.2 Materiales.**

A continuación se menciona y describe el equipo y material empleado para el desarrollo del proyecto.

#### **3.2.1 Cabezal alternativo**

Se utilizó un cabezal para compresor alternativo de capacidad de 745.7 W (1 hp), 113.27 l/min, a 1200 rpm. (Figura 3.2).



Figura 3.2. Cabezal alternativo para compresor.

### 3.2.2 Motor Eléctrico

Se utilizó un motor monofásico 127 v. con una velocidad de 1750 rpm. 745.7 W (1 hp). Equipado con una polea de aluminio de 7.62 cm y una banda B-43. (Figura 3.3).



Figura 3.3. Motor eléctrico 745.7 W (1 hp), marca siemens.

### 3.2.3 Disipador de calor

Se utilizaron dos disipadores de calor, con sus respectivas conexiones y manómetros. (Figura 3.4).



Figura 3.4. Disipador tubular de calor.

Tabla 3.1. Materiales utilizados en la construcción del compresor.

CLAVE	MATERIAL	MEDIDA	CANTIDAD
01	Abrazadera	1.27 cm	2
02	Abrazadera	2.54 cm	2
03	Aceite	SAE-40	1 L
04	Ángulo	2.54x2.54xo.16 cm	1778 cm
05	Banda de Caucho	B-43	1
06	Barra Roscada	1.59 cm	1
07	Bisagra	1.27 cm	2
08	Cabezal alternativo	745.7 W	1
09	Cable de cobre duplex	AWG 12	300 cm
10	Clavija Industrial	3 polos	1
11	Conector campana	1.59 cm	4
12	Conector para campana	1.27 a 1.59 cm	4
13	Conector para campana	1.27 a 0.95 cm	1
14	Conector para tanque de gas	2.54 cm	1
15	Cople galvanizado	1.90 cm	4
16	Cople galvanizado	1.27 cm	1
17	Cople PVC	2.54 cm	1
18	Manguera alta presión	1.27 cm	300 cm
19	Manguera baja presión	2.54 cm	300 cm
20	Manómetro de Carátula	0- 689.48 kPa	1
21	Motor Eléctrico	745.7 W	1
22	Pintura		1 L
23	Placa de acero	5.08x2.54x0.63 cm	2
24	Placa de acero	5.08x5.08x0.63 cm	4
25	Plasti-acero	80 gr	1
26	Polea	17.78 cm	1
27	Polea	7.62 cm	1

28	Reducción Bushing	1.90 a 1.27 cm	4
29	Reducción Bushing	1.27 a 0.63 cm	1
30	Soldadura	6013, 0.317 cm	2 Kg
31	Tapón galvanizado	1.27 cm	1
32	Tornillo	0.79x3.81 cm	9
33	Tornillo	0.79 cm	4
34	Tubo de acero	5.08x30.48 cm Ced. 40	2
35	Tubo flexible de cobre	1.59 cm	300 cm
36	Tubo flexible de cobre	0.95 cm	15.24 cm
37	Tubo Galvanizado	1.27 cm	15.24 cm
38	Tubo PVC	2.54 cm	15.24 cm
39	Tuerca	1.59 cm	3
40	Tuerca	0.79 cm	13
41	Válvula de alivio	1.27 cm	1

### 3.3 Metodología.

#### 3.3.1 Estructura base o plataforma para el montaje del compresor.

La estructura donde montamos el compresor fue copiada de una estructura comercial, por lo cual no vamos a entrar en detalle con este componente. Además su construcción es bastante simple, ya que no esta sometida a grandes esfuerzos tanto de tensión como torsión. Dadas estas circunstancias, para su construcción se decidió utilizar los materiales comerciales más comunes y de menor costo posible. Uno de los materiales más comunes, económicos y muy resistentes es el acero estructural A-36. Estas características hacen de este material el más apropiado para la construcción de la plataforma del compresor. Para nuestro caso, utilizamos el ángulo de dimensiones 2.54x0.32 cm.

El procedimiento de ensamblaje fue simplemente, hacer los respectivos cortes de acuerdo con las medidas requeridas según el diseño en el cual nos basamos, una vez terminado esto, se realizó la unión de las piezas por medio de soldadura eléctrica en diferentes proporciones, al mismo tiempo se hicieron los desbastes correspondientes para borrar las protuberancias e imperfecciones generadas en el proceso de soldadura, esto es muy importante para lograr un buen acoplamiento entre la base y las partes a instalar.

Concluido este proceso, se construyó el mecanismo correspondiente al montaje del motor con su respectivo sistema de tensión, para ello se utilizó una barra comercial roscada de 1.59 cm, la cual se adaptó de tal manera que manipule la base del motor conforme se actúa sobre la tuerca de ajuste de tensión; con esto se logró la articulación del motor para asegurar la tensión en la banda, necesaria para un correcto funcionamiento del compresor.

### 3.3.2 Disipadores de calor.

El diseño en su totalidad consta de dos disipadores de calor, los cuales se construyeron mediante el ensamblaje de cada uno de sus componentes. Cada disipador fue construido utilizando como base un tubo cilíndrico de acero con medidas de 6.35x30.48 cm, con las siguientes características:

- Acero A-36. Cédula 40.
- Dos placas de acero estructural A-36, con dimensiones 5.08x5.08x0.63 cm.
- Dos coples galvanizados de 1.9 cm.
- Un cople galvanizado de 1.27 cm.
- Trozo de tubo galvanizado de 1.27 cm, roscado por los dos extremos.

En la construcción de estos dispositivos, se hizo imprescindible una gran precisión en cada uno de los cortes, como en la soldadura, ya que es de vital importancia lograr total hermeticidad en el ensamblaje.

Para el ensamblaje, primeramente se debe realizar la unión con soldadura autógena entre el tubo y sus respectivas tapas colocadas en cada uno de los

extremos. Para esto, fue necesario poner el mayor cuidado en el proceso de soldado, ya que debemos de lograr la hermeticidad total para no tener problemas de fugas. En este trabajo se utilizó soldadura eléctrica por no tener disponible el equipo para soldadura autógena que es la recomendada en este caso. Una vez realizado este proceso, se continuó con la apertura de los orificios en el lugar correspondiente a donde van montadas las conexiones sobre el cilindro que se acaba de construir. El número de agujeros depende de los aditamentos que se vayan a instalar sobre el cilindro, para nuestro caso fue necesario uno para la entrada, otro para la salida y dos más para accesorios tales como manómetro, válvula de alivio, presóstato, entre otros.

Una vez hechos los orificios, se soldaron los coples en su lugar correspondiente según las necesidades del diseño. De la misma manera, el proceso de soldadura debe ser lo mas preciso posible para lograr la hermeticidad, aunque hay que señalar que en este caso fue muy difícil lograr eso debido a que los coples eran de material galvanizado y de una u otra manera presentaron de incompatibilidad con el hierro negro debido al tipo de soldadura utilizado, como se explicó anteriormente.

Por último se le aplicó un recubrimiento con material sellante (Plasti-Acero) en cada una de las uniones para lograr un sellado perfecto. Esto fue necesario hacer solo en las partes soldadas con el propósito de sellar las pequeñas fugas que se presentaron debido a la formación de pequeñas burbujas por la reacción química entre la soldadura y el metal (hierro negro y galvanizado). El material sellante funciona como un aislante térmico y por lo tanto, afectó la capacidad del disipador para expulsar el calor generado por el sistema.

### 3.3.3 Ensamble del compresor.

Después de cortar y ensamblar los elementos necesarios, se continuó con el acoplamiento de todos y cada uno de los elementos que formaron el compresor

en su totalidad. Se inició con la plataforma, que se construyó a base de ángulos de acero A-36 de 2.54 cm. Esto nos permitió perforar directamente en la cara del ángulo para hacer la instalación del motor como del cabezal y los disipadores de calor.

Terminado este proceso, solo restó realizar las conexiones neumáticas y eléctricas. Las conexiones neumáticas se hicieron acoplando los tubos de cobre de 1.59 cm, con sus respectivos conectores, en cada una de las entradas y salidas en los disipadores de calor y el cabezal alternativo. Se continuó con la instalación de los elementos de medición y accesorios, tales como manómetro, válvula de alivio y las correspondientes mangueras flexibles, tanto para la entrada de baja presión como para la salida del biogás a alta presión. Finalmente se realizó la conexión eléctrica entre el motor y la toma de corriente, para ello fueron necesarios 3 metros de cable duplex de cobre calibre WAG 12 y una clavija de tipo industrial con tres patas.

### 3.3.4 Conexiones neumáticas y eléctricas.

Ensambladas las partes mecánicas, se hicieron las conexiones necesarias para un correcto funcionamiento del compresor construido. Al término de todo el proceso, se obtuvo el montaje que se muestra en la figura (3.5).



Figura 3.5. Resultado final del ensamble del compresor.

### 3.4 Herramienta y equipo utilizados para la construcción del compresor.

Tabla 3.2. Herramienta y equipo para la construcción del compresor.

Avellanador
Brocas de diferentes calibres
Cinzel
Cinta métrica
Cortador de tubo
Desarmadores (plano y cruz)
Equipo de soldadura eléctrica
Esmeril de banco
Guantes de carnaza
Juego de llaves de corona de medidas (1/8", 3/16", 1/4", 5/16", 3/8", 7/16", 1/2", 9/16", 5/8", 11/16", 3/4", 13/16", 7/8", 15/16", 1")
Juego de llaves españolas de medidas (1/8", 3/16", 1/4", 5/16", 3/8", 7/16", 1/2", 9/16", 5/8", 11/16", 3/4", 13/16", 7/8", 15/16", 1").
Lijas
Llave Estilson
Martillo
Mazo
Pinzas de presión
Pinzas mecánicas
Pulidora manual
Segueta manual
Sujetador de tornillo
Taladro de banco
Taladro manual
Tornillo de banco
Torno
Vernier

Tabla 3.3. Equipo de Cómputo y software.

AutoCAD
Laptop
Microsoft Excel
Microsoft Power Point
Microsoft Word
Paint

### 3.5 Descripción y principio de funcionamiento del equipo construido.

El dispositivo diseñado es un compresor destinado a reducir los volúmenes de biogás obtenido directamente de los biodigestores y elevar la presión de este producto para su aplicación agroindustrial. El compresor construido es un mecanismo conformado por un cabezal para compresor de tipo alternativo con las siguientes características:

Tabla 3.4. Características del motor eléctrico

Capacidad:	745.7 W
Nº de cilindros:	1
Lubricado:	Aceite SAE 40
Tipo:	Alternativo monofásico
Flujo:	113.27 l/min
Velocidad de trabajo:	1200 rpm
Enfriamiento:	Por aire a través de aletas
Cuerpo:	Hierro vaciado
Pistón:	Aluminio

Este compresor es impulsado por un motor eléctrico monofásico de 745.7 W, 1725 rpm, el cual está acoplado al cabezal a través de una banda y su respectivo juego de poleas, que se sujetan a la siguiente relación de velocidad.

Datos:

$V_1 = 1725$	Velocidad del motor.
$V_2 = ?$	Velocidad del cabezal.
$D_1 = 7.62 \text{ cm}$	Diámetro de la polea del motor.
$D_2 = 17.78 \text{ cm}$	Diámetro de la polea del cabezal.

$$V_1 * D_1 = V_2 * D_2$$

$$V_2 = \frac{V_1 * D_1}{D_2}$$

$$V_2 = \frac{1725 * 7.62}{17.78} = 739.29$$

$$V_2 = 739 \text{ rpm}$$

Bajo estas condiciones de trabajo se obtiene una velocidad de 739 rpm en el cabezal, la cual se encuentra muy cercana al rango de velocidad de funcionamiento normal del cabezal, ya que la velocidad máxima de giro de éste es de 1200 rpm.

Por la experiencia personal en los mecanismos de anillo-pistón, para alcanzar un óptimo funcionamiento de las partes, las temperaturas deben encontrarse en un rango entre 90 a 105°C para que los anillos del pistón se dilaten lo suficiente para lograr un sellado óptimo con las paredes del cilindro. Con el propósito de evaluar el nivel de temperatura alcanzada en el cabezal, fue necesario hacer pruebas con poleas de 5.08, 7.62, 10.16 y 17.78 cm de diámetro. La velocidad óptima se encontró con la combinación de poleas 7.62 cm en motor y 17.78 cm en el

cabezal. Con esta relación de poleas se consiguió mantener niveles bajos de calor en el cabezal (<90° C), aunque se reduce el flujo de 113.27 l/min a 69.67 l/min.

Con la polea de 5.08 cm se logró mantener una temperatura muy baja (70° C) en el cabezal, con la cual se desperdicia mucho del trabajo del motor debido a que disminuye el flujo. Además, el cabezal necesita trabajar a una temperatura mayor a los 70° C, para su correcto funcionamiento. Con la polea de 10.16 cm se consiguió aprovechar mejor el trabajo del motor, pero al mismo tiempo la temperatura en el cabezal se elevó a niveles superiores a los 110° C, por lo que no fue recomendable su uso en nuestro equipo, ya que la temperatura de seguridad para el biogás, esta por debajo de los 100° C.

Con la polea de 7.62 cm se lograron temperaturas alrededor de los 100° C, aun trabajando por ciclos prolongados a una presión cercana a los 689.48 kPa. A continuación se describe el procedimiento que se siguió para calcular el flujo total del equipo bajo las condiciones de trabajo descritas anteriormente.

Mediante una regla de 3 simple, se calculó el flujo del cabezal con una velocidad de trabajo de 739 rpm. Considerando que las especificaciones son de 113.27 l/min, a 1200 rpm.

$$113.27 \longrightarrow 1200$$

$$Q \longrightarrow 739$$

$$Q = \frac{739 * 113.27}{1200}$$

$$Q = 69.75$$

Donde:

Q= Gasto o Flujo.

De lo anterior se obtuvo que el compresor construido proporcionó un flujo de 69.75 l/min.

En el cabezal se encuentran situadas las conexiones correspondientes a la entrada y salida del biogás. La toma de entrada se encuentra conectada a un disipador de calor, el cual permite la conexión segura y confiable de una manguera de plástico con la toma de biogás en el biodigestor. La toma de salida también se encuentra conectada a un segundo disipador de calor, el cual realiza la misma función que el primero, solo que aquí su función es la de “disipador” y al mismo tiempo de acumulador de presión, para evitar variaciones bruscas a la hora de la medición con el manómetro. En el disipador de salida se encuentra la conexión que va hacia el tanque metálico donde se almacena el biogás ya comprimido.

El funcionamiento del equipo consiste básicamente en tomar el biogás desde la salida de los filtros eliminadores de  $H_2S$  y vapor de agua, pasarlo a través de las líneas de entrada hasta llegar al cabezal del compresor, realizar el proceso de compresión y luego hacer circular el producto ya comprimido hacia el recipiente de almacenamiento previamente conectado. El recipiente es un tanque metálico de los utilizados para almacenar gas doméstico, el cual está conectado por medio de una línea y dispositivo de conexión rápida para su fácil instalación y desinstalación. El objetivo de hacer una línea de conexión rápida fue principalmente para que el compresor se instalara como una estación de llenado de tanques.

### 3.6 Costos.

#### 3.6.1 Costo de materiales.

Tabla 3.5. Costo de los materiales utilizados en la construcción del compresor.

CLAVE	MATERIAL	MEDIDA	CANTIDAD	COSTOS (\$)
01	Abrazadera	1.27 cm	2	6
02	Abrazadera	2.54 cm	2	12
03	Aceite	SAE-40	1 L	36
04	Ángulo	2.54x2.54xo.16 cm	1778 cm	290
05	Banda de Caucho	B-43	1	80
06	Barra Roscada	1.59 cm	1	60
07	Bisagra	1.27 cm	2	20
08	Cabezal alternativo	745.7 W	1	630
09	Cable de cobre duplex	AWG 12	300 cm	30
10	Clavija Industrial	3 polos	1	35
11	Conector campana	1.59 cm	4	48
12	Conector para campana	1.27 a 1.59 cm	4	32
13	Conector para campana	1.27 a 0.95 cm	1	8
14	Conector para tanque de gas	2.54 cm	1	40
15	Cople galvanizado	1.90 cm	4	24
16	Cople galvanizado	1.27 cm	1	5
17	Cople PVC	2.54 cm	1	8
18	Manguera alta presión	1.27 cm	300 cm	24
19	Manguera baja presión	2.54 cm	300 cm	36
20	Manómetro de Carátula	0- 689.48 kPa	1	100
21	Motor Eléctrico	745.7 W	1	980
22	Pintura		1 L	60
23	Placa de acero	5.08x2.54x0.63 cm	2	20
24	Placa de acero	5.08x5.08x0.63 cm	4	40

25	Plasti-acero	80 gr	1	35
26	Polea	17.78 cm	1	90
27	Polea	7.62 cm	1	40
28	Reducción Bushing	1.90 a 1.27 cm	4	48
29	Reducción Bushing	1.27 a 0.63 cm	1	10
30	Soldadura	6013, 0.317 cm	2 Kg	58
31	Tapón galvanizado	1.27 cm	1	10
32	Tornillo	0.79x3.81 cm	9	22.5
33	Tornillo	0.79 cm	4	10
34	Tubo de acero	5.08x30.48 cm Ced. 40	2	85
35	Tubo flexible de cobre	1.59 cm	300 cm	240
36	Tubo flexible de cobre	0.95 cm	15.24 cm	20
37	Tubo Galvanizado	1.27 cm	15.24 cm	12
38	Tubo PVC	2.54 cm	15.24 cm	5
39	Tuerca	1.59 cm	3	12
40	Tuerca	0.79 cm	13	6.5
41	Válvula de alivio	1.27 cm	1	60
TOTAL				3388

### 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.

Tabla 3.6. Costo de mano de obra.

Concepto	Costo (\$)
Construcción del bastidor	800.00
Construcción de los disipadores	1000.00
Perforaciones	200.00
Preparación de la tubería de cobre	150.00
Ensamblaje de los componentes	500.00
<b>Total</b>	<b>2650.00</b>

Finalmente, podemos deducir que el costo total del equipo es de \$ 6038.

### 3.7 Mantenimiento y ajustes del equipo.

Por regla general, toda maquina que realice un trabajo requiere de mantenimiento periódico para asegurar su optimo funcionamiento y prevenir posibles fallas en su funcionamiento.

Para que el equipo cumpla satisfactoriamente con sus funciones, se hacen las siguientes recomendaciones.

- Realizar frecuentemente la limpieza de los filtros que anteceden al compresor en el sistema.
- Revisar mensualmente el nivel de aceite del carter del cabezal.

- Por lo menos una vez cada 6 meses, se debe desmontar la tapa de válvulas del cabezal para darle una limpieza y verificar que no tenga partículas sólidas en sus conductos y asientos de válvulas para lograr un buen funcionamiento.
- De observarse patinaje de la banda, se debe realizar un ajuste de tensión para un correcto funcionamiento.
- Revisar periódicamente el correcto funcionamiento de la válvula de alivio.
- Cada 6 meses se deben drenar los disipadores de calor.

#### **IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

Terminada la etapa de construcción del dispositivo compresor, nos trasladamos al lugar de instalación y pruebas; estas se realizaron durante varios días para vigilar el comportamiento del equipo así como la eficacia y eficiencia con que éste realiza el trabajo. Durante este proceso se observó que el equipo no presentaba ningún tipo de anomalía o riesgo tanto para los operarios como para las instalaciones.

Dentro de las actividades que se realizaron durante las pruebas se incluye el llenado de un tanque metálico de 45 kg. de los usados en el gas doméstico comercial. El llenado del tanque de 45 kg. a una presión de 689.48 KPa, requirió un tiempo promedio de 3 minutos.

Debido a que no fue posible disponer de mayores volúmenes de biogás, no se realizaron pruebas con mayor tiempo de trabajo, pero en cambio se realizaron pruebas de compresión con aire puro y comprobamos que la temperatura del cabezal no sobrepasa los 100° C, trabajando durante un tiempo de 1 hora. De hecho, la temperatura se estabiliza alrededor de los 6 minutos, trabajando a un régimen de 689.48 KPa.

Con estos resultados, finalmente se puede aceptar la hipótesis alternativa 1 planteada al principio del proyecto, la cual menciona que es posible elevar la presión del biogás utilizando equipos convencionales de compresión sin que representen ningún riesgo tanto para los operarios como para las instalaciones.

De la misma manera también logramos la construcción de un equipo de muy bajo costo y poco mantenimiento, comparado con los equipos de compresión existentes en el mercado. Además todas las partes con que fue construido son fáciles de conseguir en el mercado.

## V. RECOMENDACIONES

Como en cualquier sitio donde se maneja material explosivo, es necesario tomar en cuenta algunas recomendaciones.

- No fumar cuando se esté operando el equipo.
- Contar con un extintor clase B.
- No exponer el compresor y tanque de almacenamiento directamente al sol.
- Contar con una instalación eléctrica apropiada.
- Mantener limpio y ordenada el área de trabajo.
- Fijar el equipo de manera permanente en el lugar donde se va a utilizar.

## VI. LITERATURA CITADA

Consumer.es, 2007. Biogás. Libro electrónico. Disponible en el sitio Web [http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/energia\\_y\\_ciencia/2005/04/07/141021.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2005/04/07/141021.php).

Ecoportal.net, 2006. Curso-Taller sobre Aprovechamiento de Residuos Sólidos con Producción de Biogás y Abono Orgánico. Disponible en el sitio Web <http://www.ecoportal.net/content/view/full/64582>.

Edwin Alejandro García, 2004. Compresores de Aire Tipos, Usos y Cuidados. Libro electrónico. Disponible en el sitio Web <http://www.revista-mm.com/rev44/art10.htm>.

Félix, A., S. Sánchez y M. I. Mandujano. 1979. Estudios, Adaptación y Pruebas de Equipos Comerciales para la Utilización del Biogas. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Div. Fuentes de Energía, Área de FUENTES Avanzadas. Cuernavaca, edo. de Morelos. México.

G. Pablo, 1990. Principios microbiológicos y química de la fermentación bovina. En biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos. Monroy H. Oscar y Gustavo Viniegra G., compiladores. AGT editor. México.

Georgia Tech Research Institute. Atlanta. Georgia. USA.

Henríquez Bruno. Las Fuentes Renovables de Energía. Energía y Tu (0): 2,1997.

James L Walsh, Jr. P.E, Charles C. Ross, P.E, Michael S. Smith, Stephen R. Harper, W. Allen Wilkins, Febrero de 1988. HANDBOOK ON BIOGAS UTILIZATION. Publicado por: the Environment. Health, and Safety Division

Jorge Gonzales Delfín, 2007. Compresores. Libro electrónico. Disponible en el sitio <http://www.geocities.com/MadisonAvenue/6883/trabajos/8compresores/compresores98.htm> Web

Monografías.com, 2006. Teoría cinética de los gases. Libro electrónico. Disponible en el sitio Web <http://www.monografias.com/trabajos/leydeboyle/leydeboyle.shtml>

Producechiapas, 2006. Energía a partir de biogás. Pagina electrónica. Disponible en el sitio Web <http://producechiapas.org/agroindustri/biogas>.

Proyectosdefindecarrera, 2005. Compresores. Libro electrónico. Disponible en el sitio Web <http://www.proyectosfindecarrera.com/tipos-compresores.htm>.

Proyectosdefindecarrera, 2007. El biogás. Libro electrónico, disponible en el sitio Web <http://www.proyectosfindecarrera.com/definicion/biogas.htm>.

Rincondelvago.com, 2000. Composición del biogás. Contenido electrónico. Disponible en el sitio Web <http://html.rincondelvago.com/compost.html>.

Textoscientificos.com, 2006. Biogas. Pagina electrónica. Disponible en el sitio Web <http://www.ecoportat.net/content/view/full/64582>.

Uamerica.edu, 2007. Compresores centrífugos. Contenido electrónico. Disponible en el sitio Web [http://www.uamerica.edu.co/tutorial/4turgas\\_text3\\_4.htm](http://www.uamerica.edu.co/tutorial/4turgas_text3_4.htm).

Wikipedia, 2005. La enciclopedia libre. Página Web: <http://wikipedia.org/wiki/Biogas>.

Wikipedia, 2007. La enciclopedia libre. Disponible en el sitio Web: <http://en.wikipedia.org/wiki/Biogas>.

Wikipedia.org, 2007. Compresor. Contenido electrónico. Disponible en el sitio Web <http://es.wikipedia.org/wiki/Compresor>.

Wordreference.com, 2006. Compresor. Contenido electrónico. Disponible en el sitio Web <http://www.wordreference.com/definicion/compresor>.

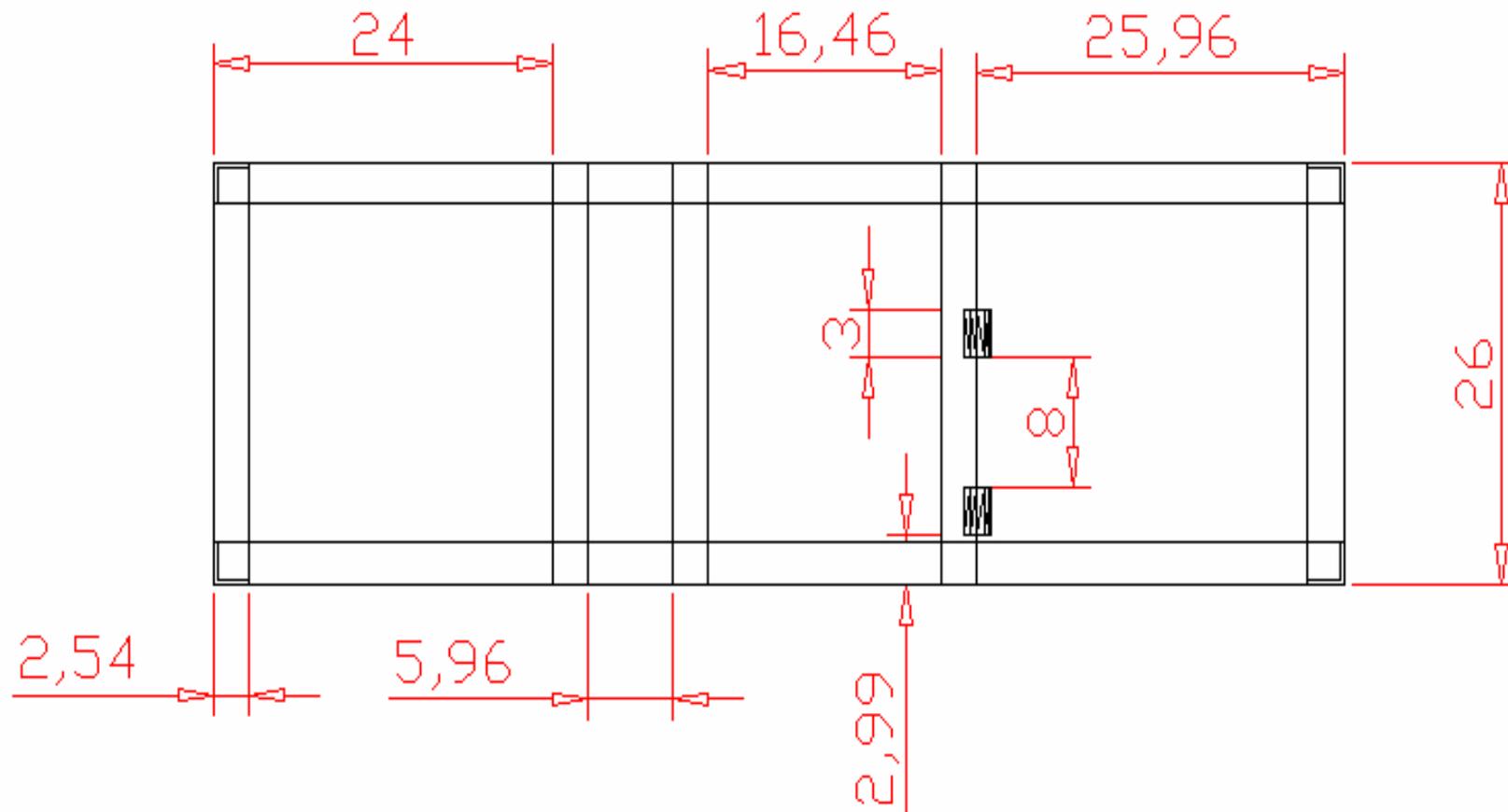
Wordreference.com, 2006. Compresores. Pagina electrónica. Disponible en el sitio web <http://www.wordreference.com/definicion/compresor>.

Yanet Villalobos Morales y Roger Z. Ríos Mercado, 2005. Aproximando la función de consumo de combustible en compresores de gas natural. Cd. Universitaria, San Nicolás, N.L. México.

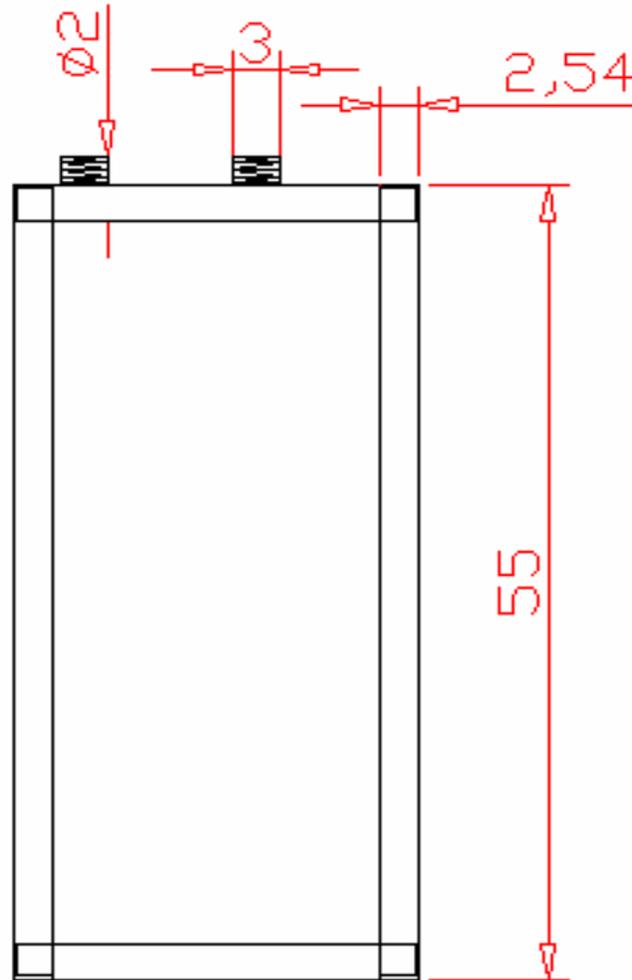
## **VII. ANEXOS**

ANEXO I.

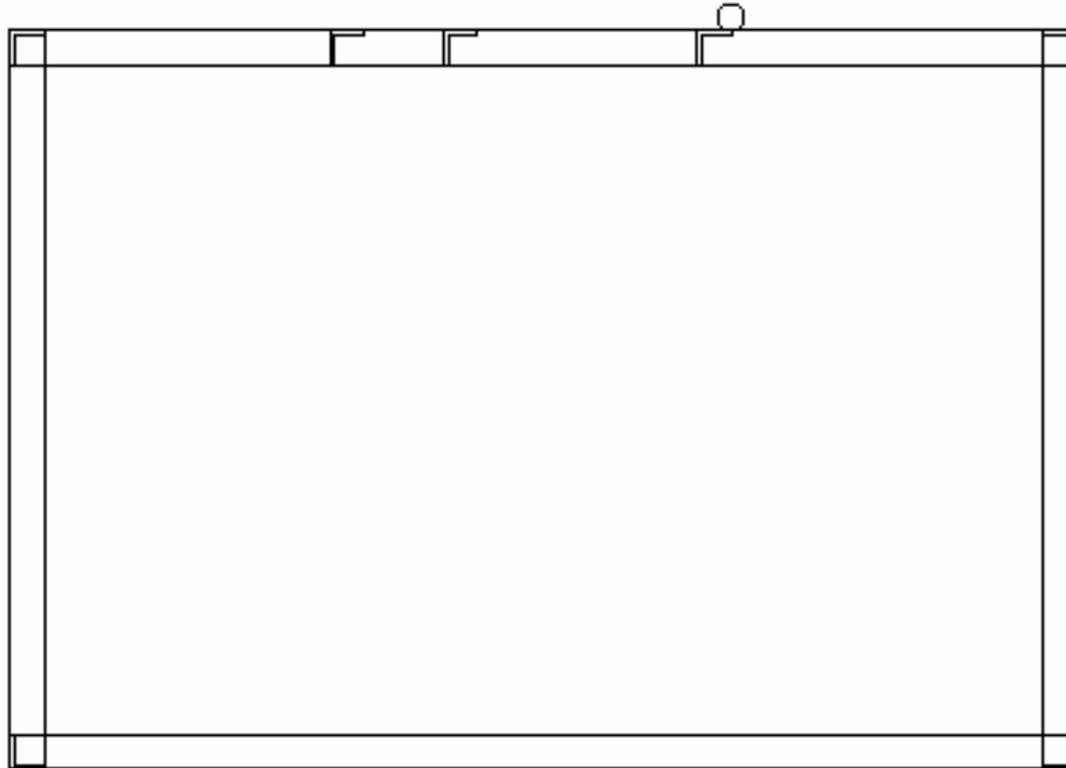
1.1 BASTIDOR. (VISTA SUPERIOR). DIMENSIONES EN CENTIMETROS.



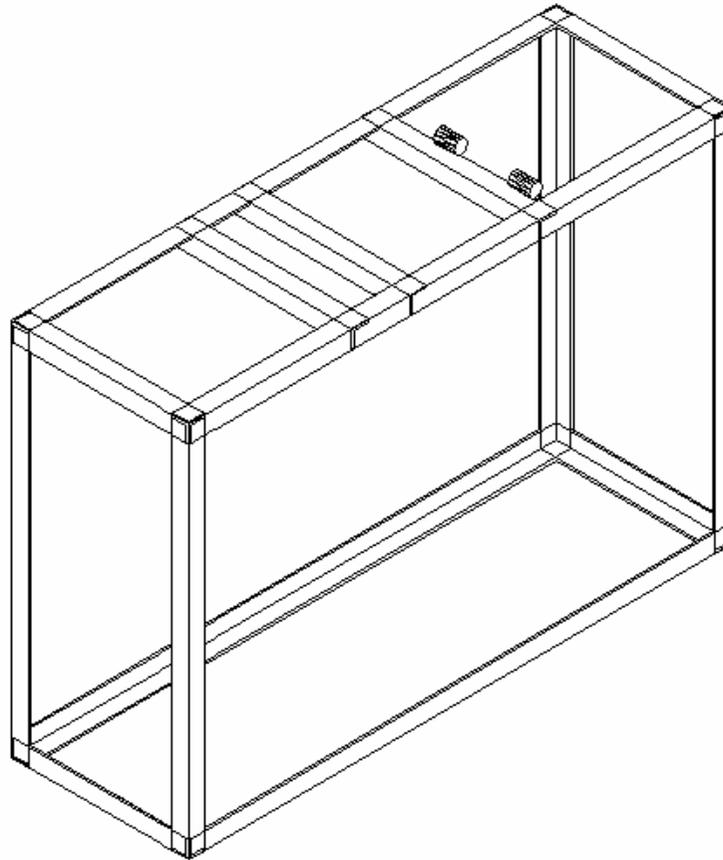
1.2 BASTIDOR (VISTA LATERAL DERECHA). DIMENSIONES EN CENTIMETROS.



1.3 BASTIDOR (VISTA FRONTAL). DIMENSIONES EN CENTIMETROS.

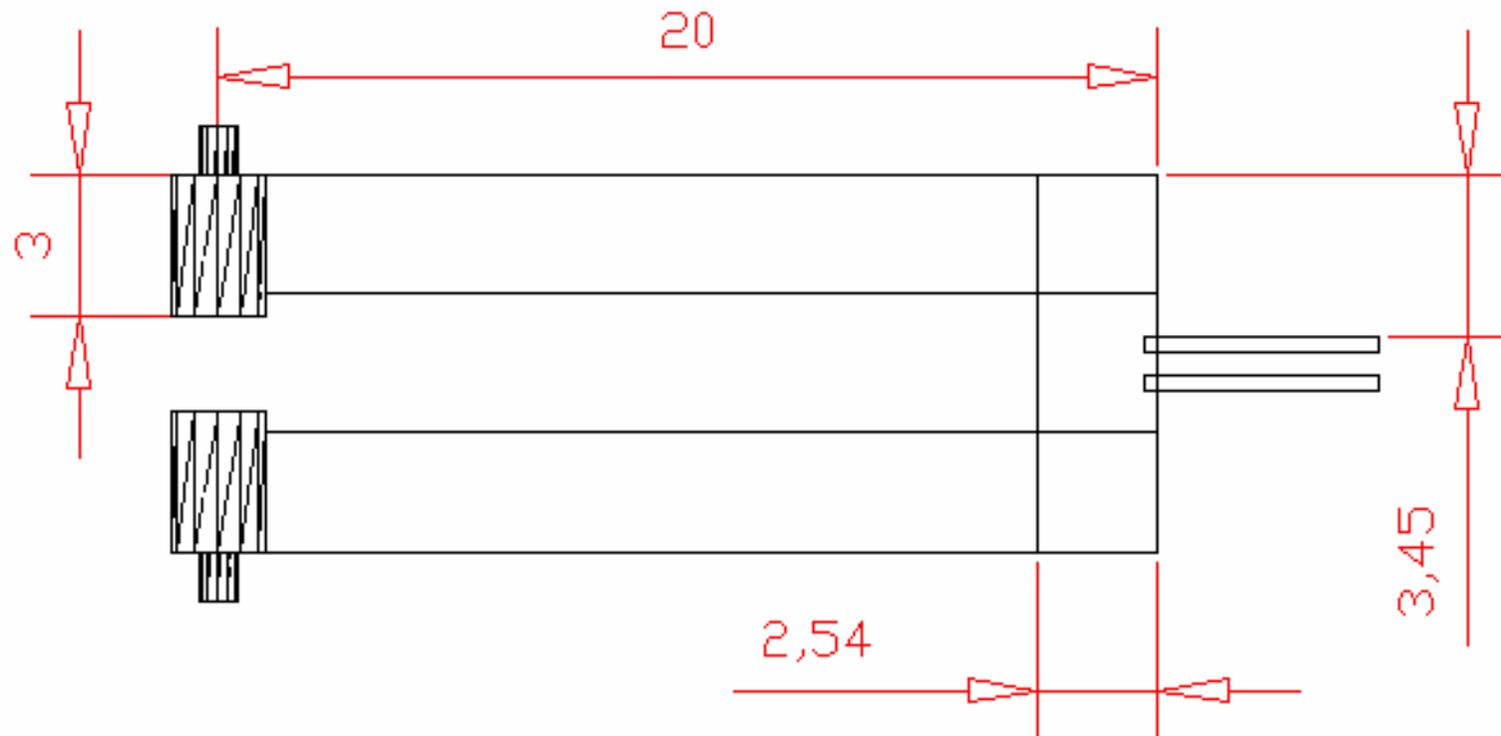


1.4 BASTIDOR (VISTA ISOMÈTRICA). DIMENSIONES EN CENTIMETROS.

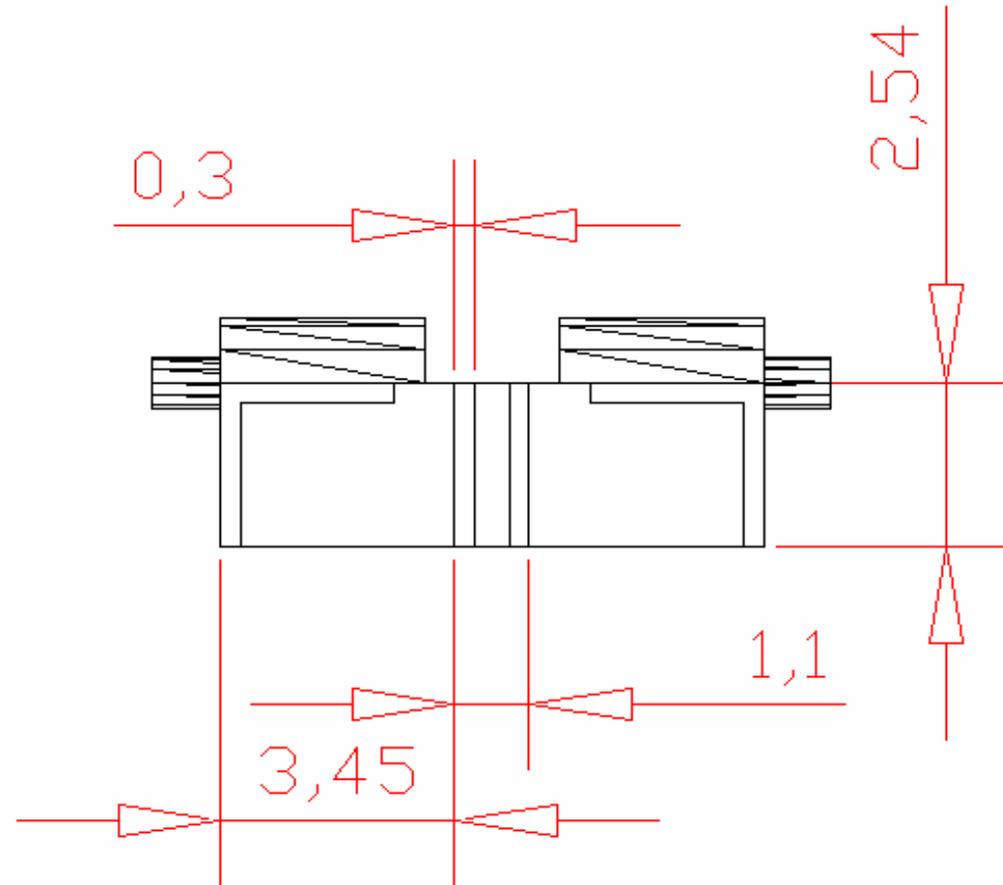


## ANEXO II

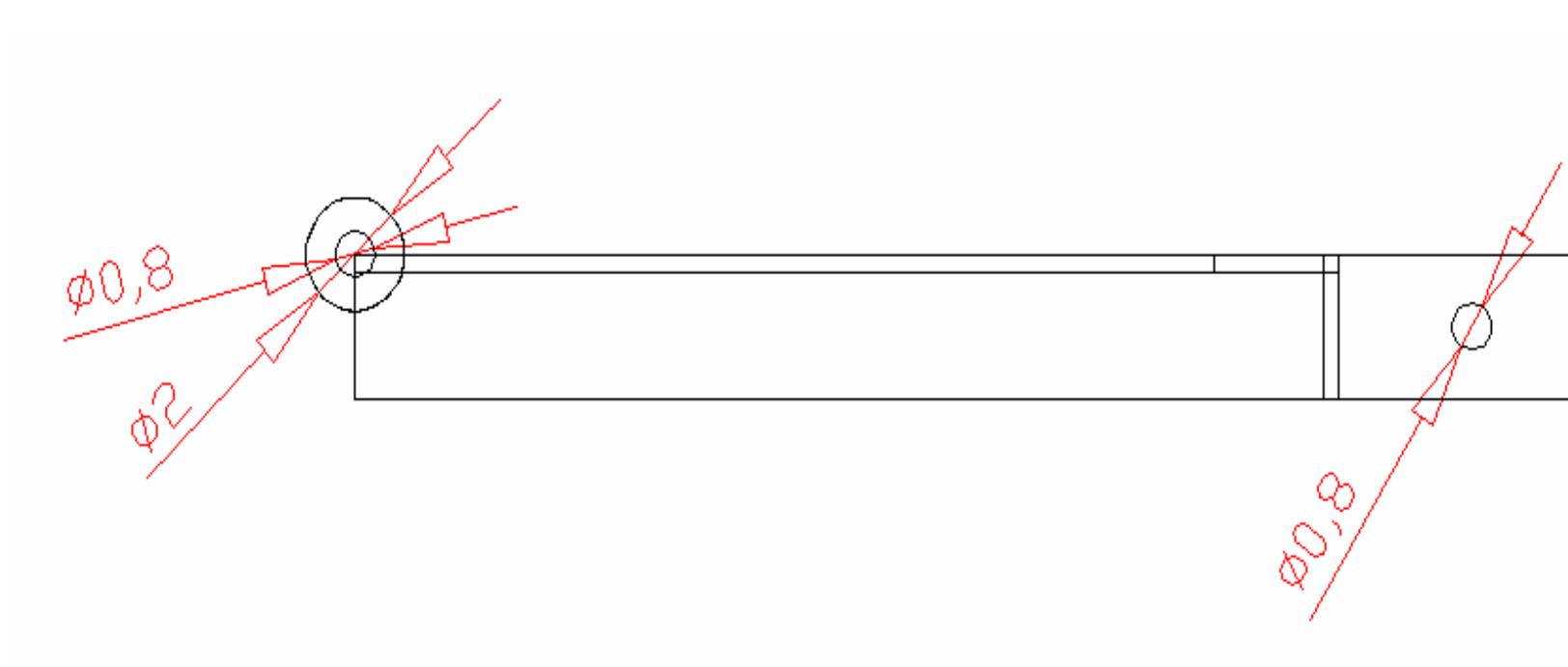
### 2.1 TENSOR DEL MOTOR (VISTA SUPERIOR). DIMENSIONES EN CENTIMETROS.



2.2 TENSOR DEL MOTOR (VISTA LATERAL DERECHA). DIMENSIONES EN CENTIMETROS.

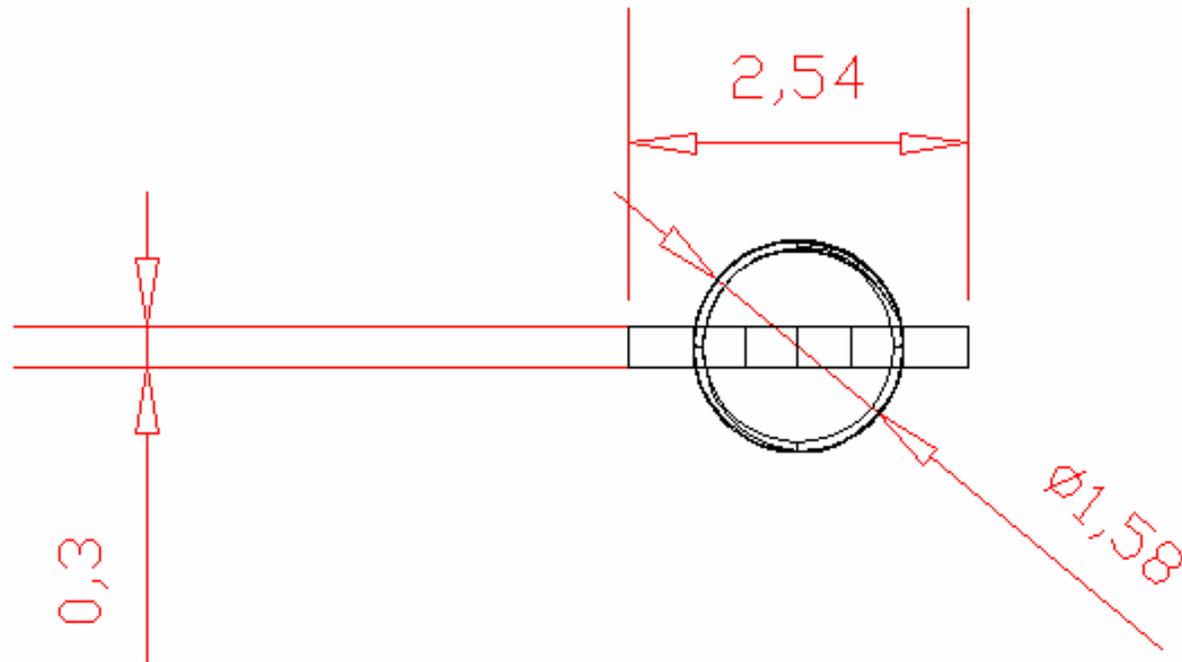


2.3 TENSOR DEL MOTOR (VISTA FRONTAL). DIMENSIONES EN CENTIMETROS.

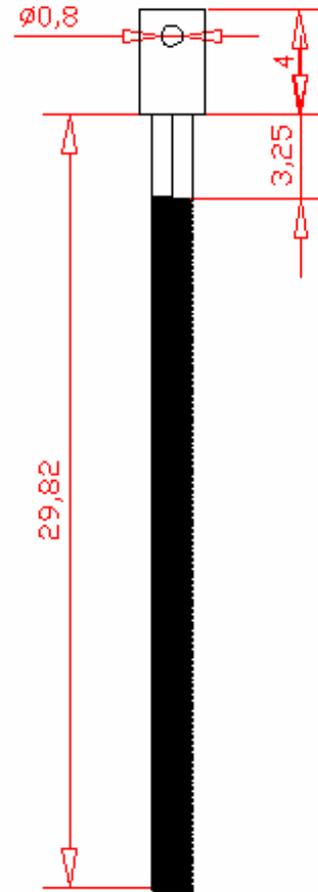


ANEXO III

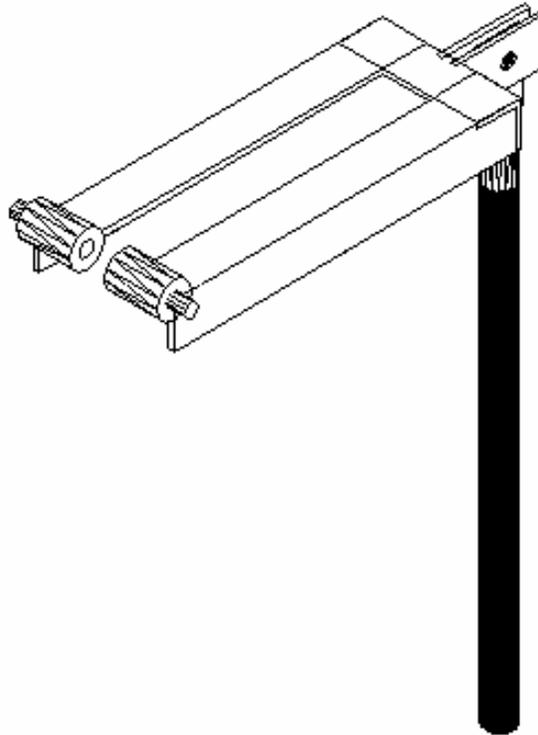
3.1 BARRA ROSCADA (VISTA SUPERIOR). DIMENSIONES EN CENTIMETROS.



3.1 BARRA ROSCADA (VISTA FRONTAL). DIMENSIONES EN CENTIMETROS.

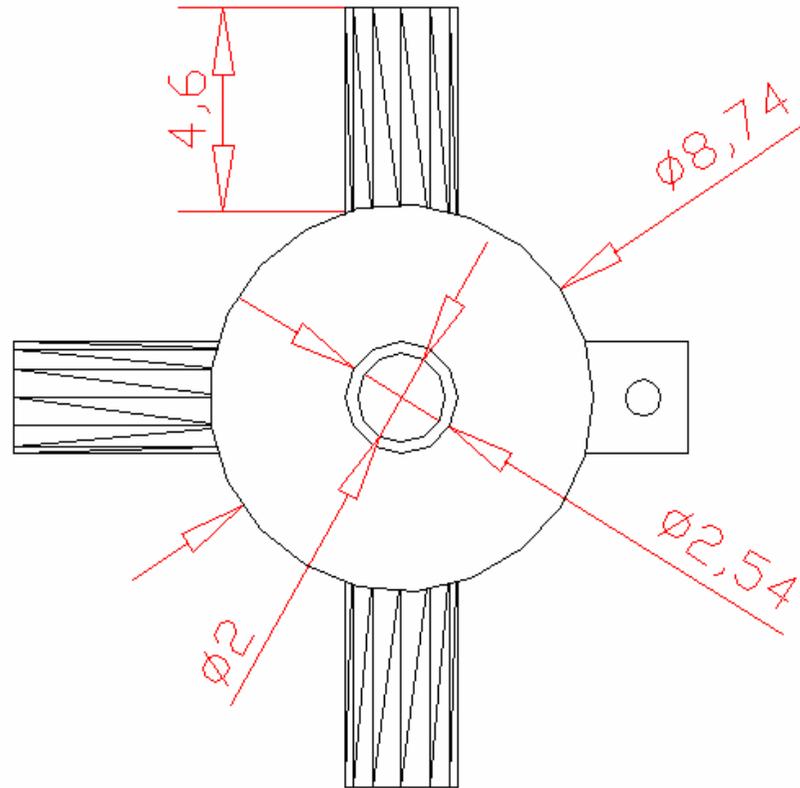


3.2 VISTA ISOMÉTRICA DEL TENSOR COMPLETO. DIMENSIONES EN CENTIMETROS.

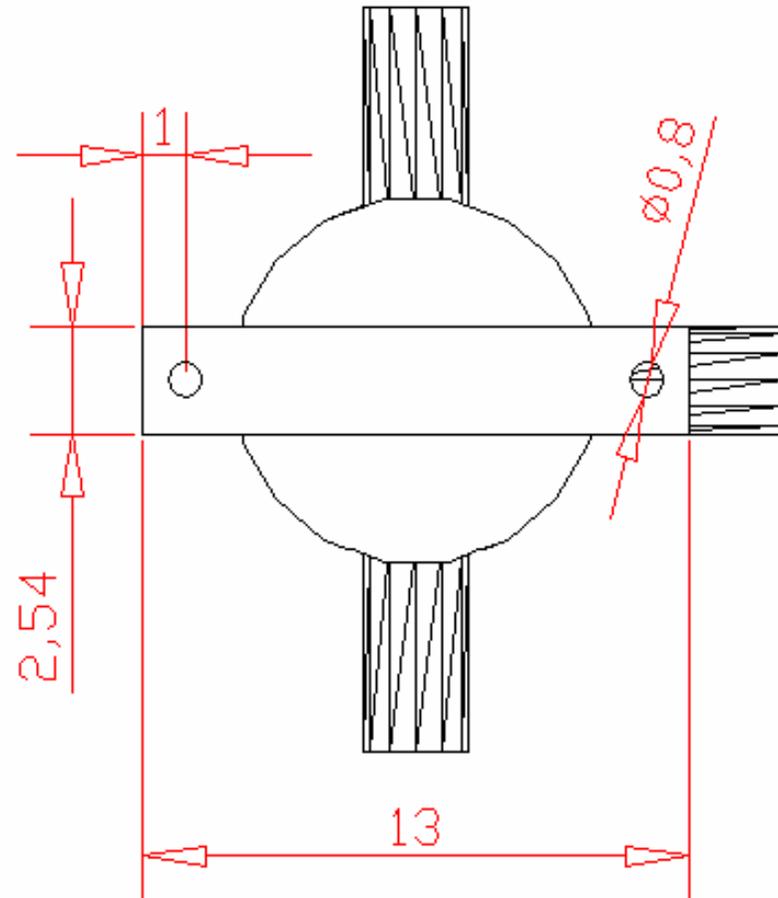


ANEXO IV

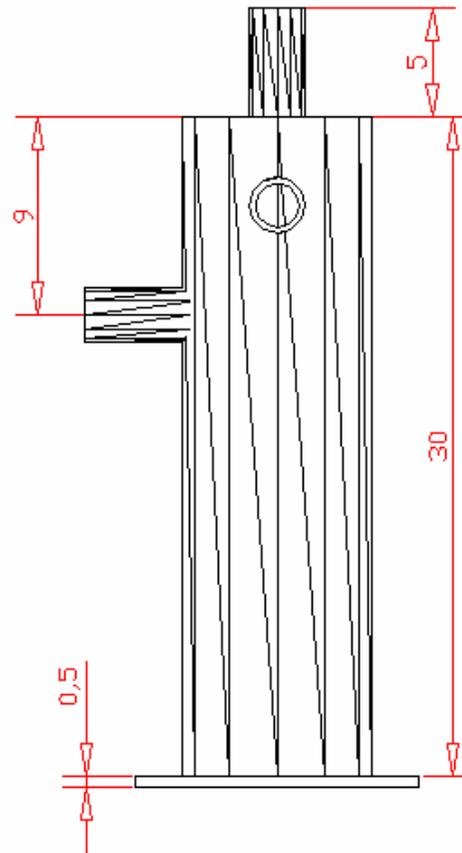
4.1 DISIPADOR DE CALOR (VISTA SUPERIOR). DIMENSIONES EN CENTIMETROS.



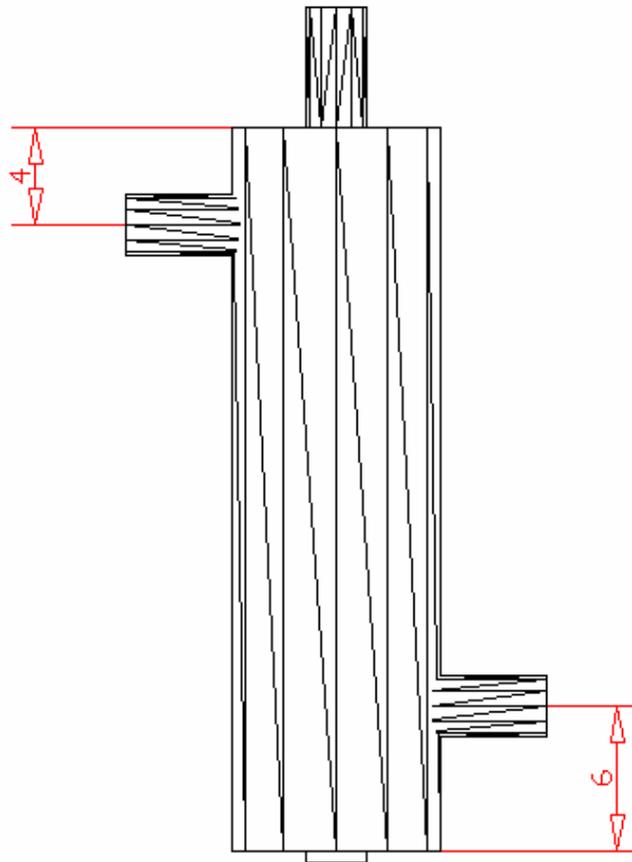
4.2 DISIPADOR DE CALOR (VISTA INFERIOR). DIMENSIONES EN CENTIMETROS.



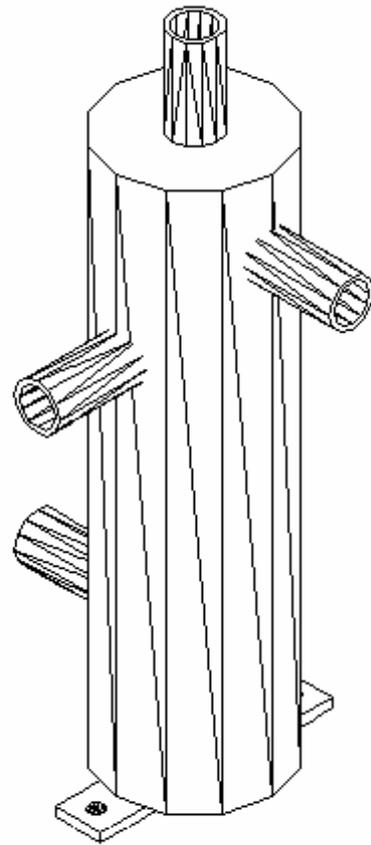
4.3 DISIPADOR DE CALOR (VISTA FRONTAL). DIMENSIONES EN CENTIMETROS.



4.4 DISIPADOR DE CALOR (VISTA LATERAL DERECHA). DIMENSIONES EN CENTIMETROS.



4.5 DISIPADOR DE CALOR (VISTA ISOMÉTRICA). DIMENSIONES EN CENTIMETROS.



## ANEXO V

### 5.1 VISTA COMPLETA DEL EQUIPO. DIMENSIONES EN CENTIMETROS.

