

# Desarrollo de un Sistema de Biodigestores y Energías Limpias



Diego Torres Guillén, Luis Arteaga Chávez

Asesor: Dr. Carlos Javier Solano Salinas

7 de septiembre de 2009

# Índice general

0.1. Introducción . . . . .	1
0.2. Objetivos . . . . .	2
0.3. Marco Teórico . . . . .	2
0.3.1. Energías Limpias . . . . .	2
0.3.2. Proceso Anaeróbico . . . . .	13
0.3.3. Biodigestores . . . . .	13
0.4. Desarrollo de un Sistema de Biodigestores para el comedor de la UNI . . . . .	20
0.4.1. Objetivos . . . . .	20
0.4.2. Antecedentes . . . . .	20
0.4.3. Criterios para considerar en el diseño de un Biodigestor . . . . .	32
0.4.4. Datos del comedor . . . . .	33
0.4.5. Cálculo de la masa total a usar en el biodigestor: . . . . .	34
0.4.6. Producción de biogas . . . . .	35
0.4.7. Costos en la construcción del biodigestor . . . . .	37
0.4.8. Diseño del biodigestor: . . . . .	38
0.4.9. Pasos para la construcción del biodigestor . . . . .	39
0.4.10. Reciclaje en los restaurantes de la Universidad . . . . .	41
0.4.11. Reciclaje de los barrios aledaños a la UNI . . . . .	41
0.4.12. Aprovechamiento del biogás en motores . . . . .	42
0.4.13. Conclusiones . . . . .	43
0.5. Resultados . . . . .	43
0.6. Tareas Futuras . . . . .	43
0.7. Conclusiones Finales del Trabajo . . . . .	44

## **Resumen**

En el presente trabajo se podrá encontrar una recopilación selectiva de información sobre los diferentes tipos de energías limpias. Veremos cuan eficientes y ahorrativos pueden ser, teniendo en cuenta que este tipo de energías casi no contaminan y su producción en masa podría ayudar más adelante como una de las tantas soluciones a la crisis climática que afecta nuestro planeta. Principalmente nos concentraremos en el tema del biogás viendo los medios que se emplean para su producción, los denominados biodigestores, además de cuan eficiente y beneficioso puede ser el uso de éste en la UNI, suministrando biogás al comedor de la universidad. Además analizaremos el tema de biogás en motores, específicamente si la producción de biogás del comedor puede abastecer también al motor del carro autónomo que se piensa hacer en la UNI.

## 0.1. Introducción

La grave crisis ambiental y el agotamiento de los recursos son los dos factores principales que motivaron al Hombre a buscar nuevas alternativas de producción energética. En ese sentido las energías limpias se convierten en las mejores opciones ya que como su mismo nombre lo dice no dejan residuos al finalizar su uso, es decir no contaminan.

En el Perú desde hace varios años se han empezado a utilizar este tipo de energías alternativas sobre todo en las zonas campesinas dada la facilidad de uso, lo ahorrativo y eficiente que son.

En el presente trabajo primero daremos una visión general de los principales tipos de energías limpias que existen, su origen, conversión, formas de producción y sus aplicaciones, esto será el punto de partida para que lo se explicara más adelante.

Según la FADAO<sup>1</sup> una de las principales fuentes de energía en el futuro serán los desechos orgánicos de las grandes ciudades, debido a que los componentes orgánicos de la basura, pueden utilizarse para generar energía eléctrica que pase a formar parte del sistema eléctrico de dicha región, pero también sirven como productor de energético doméstico directo, ya que en su descomposición produce el gas metano que se puede distribuir por las canalizaciones que tengan estas urbes, además de que esta forma de obtención de energía es barata y fácil de usar.

Como una manera de enfocar el desarrollo de estas energías en algún ambiente de la universidad, se ha pensado para este trabajo analizar cuan beneficioso puede ser el uso de los desechos orgánicos que produce el comedor de la universidad, para elaborar biogás a través de un sistema de biodigestores, para lo cual se va hacer una serie de análisis en cuanto a temperatura del ambiente, materiales, costos, cantidad de materia prima que se tiene, producción específica de biogás, eficiencia; variables que nos van a servir a determinar la factibilidad del proyecto. De ser así no solo el comedor estará contribuyendo a disminuir su propio gasto, sino que la universidad daría un gran mensaje a la sociedad ya que el aprovechamiento de estos recursos serviría de ejemplo para que otras universidades realicen lo mismo, fomentando así el uso de energías alternativas que ayuden al desarrollo energético del país. Para finalizar, nos enfocaremos a los que es el tema de biogás en motores, para relacionar la producción de la misma con el proyecto del carro autónomo que se está haciendo en el CTIC-UNI.

---

<sup>1</sup>Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

## 0.2. Objetivos

- Tener una visión general de lo que son las energías limpias así como de su aprovechamiento y aplicaciones y comprender la importancia de los métodos alternativos de generación de energía.
- Investigar sobre la producción de biogás a través de biodigestores, sus aspectos positivos y negativos, así como modelos para su construcción y procesamiento, enfocándolos como una alternativa energética y ecológica a la vez.
- Determinar la factibilidad de la realización de un sistema de biodigestores que se alimenten de los desechos orgánicos del comedor de la universidad para producir biogás que abastezca al mismo comedor
- Investigar sobre el uso de biogás en motores.

## 0.3. Marco Teórico

### 0.3.1. Energías Limpias

Las Energías Limpias, también denominadas energías verdes, son aquellas energías renovables que no son generadas a través de una reacción química (generalmente combustión como en el caso del carbón, el gas natural y el petróleo) sino más bien son producidas a través de procesos físicos y su característica principal, como da entender su nombre, es que no generan residuos como consecuencia directa de su utilización, es decir su modo de obtención o uso no emite subproductos que puedan incidir negativamente en el medio ambiente.

En estos tiempos en donde la crisis climática es una realidad y la cantidad de combustibles fósiles va en visible disminución vemos que la necesidad de usar este tipo de energías es la clave en el futuro. Pero paradójicamente el futuro ya es muy próximo, y prácticamente el uso de estas energías ya es una realidad, con el avance de la tecnologías estas energías ya pueden aprovecharse a gran escala es por eso que ya se asegura que el paso del uso de combustibles fósiles a energías renovables y sobre todo a energías limpias es aún relativamente corto.

Los sistemas energéticos sostenibles y descentralizados producen menos emisiones de carbono, son más baratos e implican menos dependencia de las importaciones de combustible. También crean más puestos de trabajo y dan poder a las comunidades locales. Los sistemas descentralizados son más seguros y más eficientes. Esto es lo que busca la Revolución Energética.

Entre las energías limpias tenemos: la energía solar, la energía eólica, energía geotérmica, energía de la biomasa, energía de los mares, energía

hidráulica, energía undimotriz, a continuación pasaremos a analizar las energías que actualmente están siendo más usadas:

## Energía Solar

Es la energía que nos suministra el Sol, por ende es el recurso energético más abundante del planeta, como dato para darse cuenta de la magnitud de energía que nos da, Durante el presente año, el Sol arrojará sobre la Tierra cuatro mil veces más energía que la que vamos a consumir.

En el Perú la energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio. En la gran mayoría de localidades, la disponibilidad de la energía solar es bastante grande y bastante uniforme durante todo el año, comparado con otros países, lo que hace atractivo su uso. En términos generales, se dispone, en promedio anual, de 4-5 kWh/m<sup>2</sup>día en la costa y selva y de 5-6 kWh/m<sup>2</sup>día, aumentando de norte a sur. Esto implica que la energía solar incidente en pocos metros cuadrados es, en principio, suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de una familia. El problema es transformar esta energía solar en energía útil y con un costo aceptable. La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es superior a los 1000 W/m<sup>2</sup> en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia.

### Aplicaciones:

Básicamente, recogiendo de forma adecuada la radiación solar, podemos obtener calor y electricidad, entonces siguiendo esa línea veamos algunas de las aplicaciones de la energía solar:

- **Aplicaciones térmicas:** estas se dan través de los llamados colectores solares o paneles solares. El calor recogido en los colectores puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a nuestros hogares, hoteles, colegios, fábricas, etc. Incluso podemos climatizar las piscinas y permitir el baño durante gran parte del año.

En el ámbito agrícola el aprovechamiento tradicional de la energía solar más difundido es el secado solar de productos agrícolas, exponiendo el producto directamente a la radiación solar. Con invernaderos solares pueden obtenerse mayores y más tempranas cosechas; los secaderos agrícolas consumen mucha menos energía si se combinan con un sistema solar, y, por citar otro ejemplo, pueden funcionar plantas de purificación o desalinización de aguas sin consumir ningún tipo de

combustible.

**Hornos solares:** Los hornos solares son una aplicación importante de los concentradores de alta temperatura. El mayor, situado en Odeillo, en la parte francesa de los Pirineos, tiene 9.600 reflectores con una superficie total de unos 1.900 m<sup>2</sup> para producir temperaturas de hasta 4.000°C. Estos hornos son ideales para investigaciones, por ejemplo, en la investigación de materiales, que requieren temperaturas altas en entornos libres de contaminantes.



Figura 1: Hornos Solares

- **Aplicaciones eléctricas:** el aprovechamiento solar para la producción de energía esta básicamente dado por Las células solares”, dispuestas en paneles solares, ya producían electricidad en los primeros satélites espaciales. Actualmente se perfilan como la solución definitiva al problema de la electrificación rural, con clara ventaja sobre otras alternativas, pues, al carecer los paneles de partes móviles, resultan totalmente inalterables al paso del tiempo, no contaminan ni producen ningún ruido en absoluto, no consumen combustible y no necesitan mantenimiento. Además, y aunque con menos rendimiento, funcionan también en días nublados, puesto que captan la luz que se filtra a través de las nubes.

### **Rendimiento de las células fotovoltaicas y colectores solares:**

Cada sistema tiene diferentes rendimientos. Los típicos de una célula fotovoltaica (aislada) de silicio policristalino oscilan alrededor del 10 %.

Para células de silicio monocristalino, los valores oscilan en el 15 %.

Los más altos se consiguen con los colectores solares térmicos a baja temperatura (que puede alcanzar el 70 % de transferencia de energía solar a térmica). También la energía solar termoeléctrica de baja temperatura, con el sistema ESTE10 [1], de nuevo desarrollo que ronda el 50 % en sus primeras versiones. Tiene la ventaja que puede funcionar 24 horas al día a base de agua caliente almacenada durante las horas de sol. A continuación el sistema de discos Stirling (30-40 %). Como ventaja añadida, el calor residual puede ser reaprovechado. Los paneles solares fotovoltaicos tienen un rendimiento bastante bajo (en torno a un 18 %) y no producen calor que se pueda reaprovechar. Sin embargo, son muy apropiados para instalaciones sencillas en azoteas y de autoabastecimiento aunque su precio es muy alto. También se estudia obtener energía de la fotosíntesis de algas y plantas, con un rendimiento del 3 %.

### **Precio de paneles solares fotovoltaicos**

El precio de paneles fotovoltaicos en 2005 fue de 1 a 2 \$/vatio (USD) en cantidades de 400 kW. Como la cantidad de producción aumenta, los precios probablemente continúen bajando. Instalados, el costo está entre 1 y 7 dólares por vatio. Los precios de venta al por menor actuales en Australia para sistemas pequeños son de alrededor A\$ 12 a A \$ <sup>2</sup> 15 por vatio. Por ejemplo, un panel de 10 W costaba A\$ 150 hacia diciembre de 2005, y uno de 20 W costaba A\$ 300 La energía solar seguirá siendo cara por un tiempo, como se ve al comparar los precios calculados para las plantas que estarán en red en el 2013, pero el costo debe disminuir al mejorar la tecnología.



Figura 2: Panles Solares

---

<sup>2</sup>dolares australianos



## Energía Solar en la UNI

Tenemos al CER-UNI <sup>3</sup>, es el órgano encargado de las actividades con energías renovables, proyecta sus actividades a nivel nacional, con preferencia del sector rural, buscando los puentes que le permitan el acercamiento respectivo.

Entre sus proyectos para el 2008 tenemos:

- Propuesta técnica de confort térmico para viviendas de comunidades ubicadas en zonas entre 3000 y 5000 msnm. FINCYT.
- Instalación de un extractor de aceites esenciales en Ayacucho utilizando un concentrador parabólico y un sistema fotovoltaico.
- Monitoreo de un sistema fotovoltaico productivo de 2kW de potencia instalada por este centro en el año 2007.
- Convenio específico entre el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONCYTEC y la Universidad Nacional de Ingeniería, UNI, para la construcción de un prototipo de Horno de Secado de Madera de 5000 pies tablares de capacidad.

Por otro lado hace ya más de veinte años, en la Facultad de Ciencias de la UNI hay un grupo de Energía Solar dirigido por el Dr. Manfred Horn, este grupo desarrolla tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar, tales como cocinas solares, y participa en la electrificación rural con sistemas fotovoltaicos. Uno de los trabajos más conocidos es la electrificación de la isla de Taquile, Puno, es más parte de la energía de la FC-UNI es debida a la energía eléctrica que brinda los paneles solares. Entre las principales experiencias están:

Diseño y construcción de equipos de energía solar:

- Termas Solares (Modelos originales / plástico).
- Concentradores solares (autororientables).
- Secadores Solares (gran tonelaje).
- Sistemas fotovoltaicos.
- Instrumentación Solar.
- Juguetes Solares.

---

<sup>3</sup>Centro de Energías Renovables de la UNI

Organización y Dictado de cursos Taller (teórico / prácticos) de energía solar a nivel nacional dirigido a:

- Grupos institucionales (p.e. Entel Perú, Marina de Guerra del Perú, Universidades del Interior)
- Docentes (Inst. tecnológicos, sector educación, PAE/MEM)
- Asociaciones de usuarios (Comunidades Ashaninkas, Org. campesinas)

### **Energía Eólica:**

Es una forma indirecta de la energía solar, en cuanto es una expresión del efecto de esta última sobre el sistema tierra- atmósfera- océanos. Las diferencias térmicas determinan alteraciones inversamente proporcionales en la presión atmosférica, de las cuales resulta el movimiento de las masas de aire: el viento, lo cual genera energía cinética que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas.

La explotación de esta energía del movimiento del aire es, dentro de las fuentes energéticas renovables, la que mayor incremento ha experimentado durante los últimos años, actualmente, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores. A finales de 2007, la capacidad mundial de los generadores eólicos fue de 94.1 gigawatts. La energía eólica genera alrededor del 1 % del consumo de electricidad mundial, representa alrededor del 19 % de la producción eléctrica en Dinamarca, 9 % en España y Portugal, y un 6 % en Alemania e Irlanda (Datos del 2007). En nuestro territorio cuenta con zonas donde las condiciones de viento harían rentable contar con aerogeneradores. Sin embargo estas zonas no son necesariamente las más pobladas. Así en el desierto de Paracas se tiene la zona de vientos más intensos, llegándose a alcanzar velocidades de hasta 40 Km / hora en las tardes. También las pampas de Cumaná son zonas propensas a los vientos pero en ella es muy difícil establecerse por estar muy alejadas de los centros poblados.

La energía eólica puede colocarse en espacios no aptos para otros fines, por ejemplo en zonas desérticas, próximas a la costa, en laderas áridas y muy empinadas para ser cultivables, además de que su instalación es rápida, entre 6 meses y un año. Su utilización combinada con otros tipos de energía, habitualmente la solar, permite la autoalimentación de viviendas, terminando así con la necesidad de conectarse a redes de suministro, pudiendo lograrse autonomías superiores a las 82 horas, sin alimentación desde ninguno de los 2 sistemas.

#### **Factores que afectan la producción de energía eólica:**

La potencia que pueda obtener un sistema de conversión de Energía Eóli-

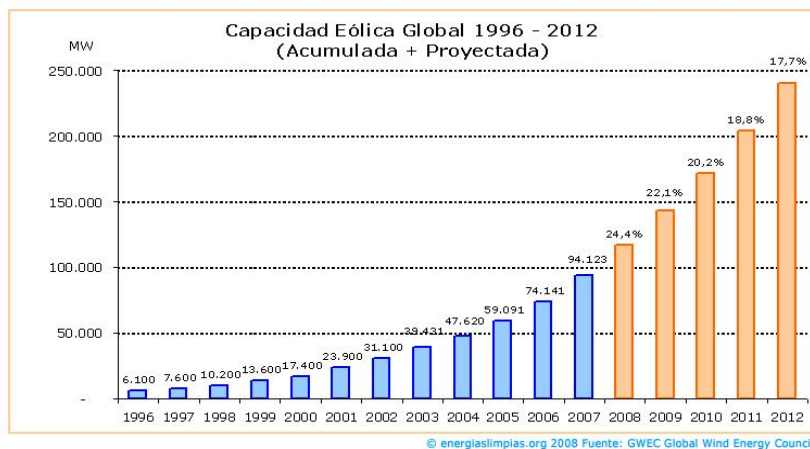


Figura 3: Proyección de la Potencia Eólica

ca está determinada por la velocidad, la densidad, y las características del viento.

- **Velocidad del viento:** al aumentar la velocidad del viento, aumenta la generación eólica disponible. Por cada metro por segundo (m/s) de incremento, el viento aumenta el valor de su velocidad al cubo, y con ella el rendimiento de los generadores. La potencia del viento es proporcional al cubo de su velocidad.
- **Características del viento:** constancia y uniformidad del viento son dos características que determinan si el recurso eólico, en un lugar, es apto para ser aprovechado. La topografía, flora, estructuras presentes en un determinado lugar, etcétera, pueden hacer variar la uniformidad del viento y su constancia, generando turbulencias y alteraciones constantes que impiden el uso del recurso.
- **La densidad del aire:** condicionada por la temperatura del mismo, favorece variaciones en la productividad de un aerogenerador. Con bajas temperaturas y mayor densidad, la incidencia del viento a una velocidad dada sobre las palas de un molino resulta más efectiva, (produce mayor rendimiento) que con igual velocidad pero menor densidad (mayor temperatura).

**Aplicaciones:**

- **Aerobombas:** el bombeo de agua es una de las primeras aplicaciones de la energía eólica, y quizás la más conocida. Para este tipo de aplicación, se usan turbinas de baja potencia, y la velocidad del viento no

es necesario que sea muy elevada, y al tener una velocidad de rotación baja, los molinos tienen un mayor número de palas, entre 12 y 14 palas. Este tipo de aerogenerador se diseña así ya que la energía eólica es variable en el tiempo y de este modo el bombeo se puede realizar en cualquier momento, permitiendo un almacenamiento sencillo del agua bombeada en un depósito. En estos sistemas hay que tener en cuenta que las características de la turbina eólica, debe ser acorde a las características de la bomba con la que trabaja. Existe otro sistema para el bombeo de agua que consiste en utilizar la potencia eólica para convertirla en potencia eléctrica, y con este sistema eléctrico, bombear suficiente agua para poblaciones y/o sistemas de riego de pequeña escala.



Figura 4: Aerobomba

- **Uso para sistemas eléctricos aislados:** zonas que al estar muy aisladas y ser de difícil acceso, no es posible hacerles llegar la energía por la línea convencional. La forma tradicional de obtener energía en estas zonas ha sido por medio de generadores diesel y una alternativa pueden ser pequeñas instalaciones eólicas generadoras de electricidad. Estas instalaciones son la fuente de electricidad más económica en estas situaciones, con un coste de instalación y mantenimiento barato en comparación con otros sistemas, contando con un pequeño aerogenerador, y un sistema de baterías en el que almacenar la energía producida para dar servicio cuando se requiera. Cuando varios usuarios próximos entre sí, recurren a este sistema, resultará más ventajoso instalar un sistema eólico centralizado, que ofrezca ventajas desde el punto de vista técnico y económico. Así un sistema eólico centralizado puede cubrir la demanda energética de una comunidad, produciendo, almacenando y transformando la electricidad, electricidad que se distribuirá a través de líneas eléctricas a cada uno de ellos.
- **Aerogeneradores:** la aplicación más conocida de los aerogeneradores es la producción de electricidad a gran escala, agrupándolos en los

llamados parques eólicos. Estos parques eólicos, suelen instalarse en zonas rurales o marinas en las que se suelen instalar un número elevado de turbinas, siendo el número dependiente de la superficie disponible y de las características del viento. Estos aerogeneradores se concretan directamente a la red eléctrica. Otras aplicaciones de la energía eólica pueden ser el alumbrado público de carreteras, la desalinización o el hidrógeno verde de los que ya hablaremos en posteriores entradas.

### **Aerogeneradores en la UNI:**

El 23 de julio de este año se inauguró en la Facultad de Ingeniería Mecánica, (FIM), el primer Túnel de Viento del Perú y Banco de Pruebas de Aerogeneradores, el cual se encuentra instalado en el laboratorio de dicha facultad.

**Utilización del aerogenerador:** Este Túnel de Viento ha sido diseñado para permitir la continuación de las investigaciones que ambas instituciones vienen realizando de manera conjunta en el desarrollo de pequeños aerogeneradores para la electrificación de poblaciones rurales aisladas del país. Cada aerogenerador en prueba será sometido a diferentes ensayos para así evaluar su comportamiento eléctrico-mecánico, eficiencias y optimización de su diseño y funcionamiento. Si estas tareas se llevaran a cabo en instalaciones de campo, demandarían demasiado tiempo y altos costos, y además generarían resultados con menores niveles de precisión. Este banco también puede ser utilizado por otras instituciones e investigadores, para el estudio de la aerodinámica de cualquier otro dispositivo o producto que la industria requiera probar o ensayar.



Figura 5: Túnel de viento y Banco de pruebas de Aerogeneradores FIM-UNI

**Especificaciones del aerogenerador:** Esta herramienta de investigación aerodinámica se ha fabricado en acero galvanizado; tiene una longitud total de 20 metros, un diámetro a la salida del difusor de 2.34 m, un área

de ingreso del aire de  $25 \text{ m}^2$  y un área de prueba efectiva de  $1,54 \text{ m}^2$ . Cuenta con un ventilador accionado por un motor de 30 HP, capaz de generar diferentes velocidades de viento, mediante un variador de frecuencias, hasta  $15 \text{ m/s}$ .

### **Biomasa:**

Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. La biomasa es toda sustancia orgánica renovable de origen tanto animal como vegetal. La energía de la biomasa proviene de la energía que almacenan los seres vivos. En primer lugar, los vegetales al realizar la fotosíntesis, utilizan la energía del sol para formar sustancias orgánicas. Después los animales incorporan y transforman esa energía al alimentarse de las plantas. Los productos de dicha transformación, que se consideran residuos, pueden ser utilizados como recurso energético.

#### **Uso de la biomasa para la obtención de combustible**

- **Forma directa:** la combustión, oxidación de la biomasa por el oxígeno del aire, libera simplemente agua y gas carbónico, y puede servir para la calefacción doméstica y para la producción de calor industrial.
- **Transformación de ácidos grasos:** aceites vegetales y grasas animales pueden transformarse en una mezcla de hidrocarburos similar al diesel a través de un complejo proceso de esterificación, eliminación de agua, transesterificación, y destilación con metanol, al final del cual se obtiene también glicerina y jabón.
- **La fermentación alcohólica:** es una técnica empleada desde muy antiguo con los azúcares, que puede utilizarse también con la celulosa y el almidón, a condición de realizar una hidrólisis previa (en medio ácido) de estas dos sustancias. Pero la destilación, que permite obtener alcohol etílico prácticamente anhidro, es una operación muy costosa en energía. En estas condiciones la transformación de la biomasa en etanol y después la utilización de este alcohol en motores de explosión, tienen un balance energético global dudoso. A pesar de esta reserva, ciertos países (Brasil, E.U.A.) tienen importantes proyectos de producción de etanol a partir de biomasa con un objetivo energético (propulsión de vehículos; cuando el alcohol es puro o mezclado con gasolina, el carburante recibe el nombre de gasohol).
- **Conversión de desecho en Energía:** El proceso consiste en transformar materia orgánica como residuos agrícolas e industriales, desperdicios varios, aguas negras, residuos municipales, residuos ganaderos,

troncos de árbol o restos de cosechas en energía calórica o eléctrica. No obstante, aunque se trate de una energía renovable, no es exactamente una energía limpia, ya que la combustión de esta biomasa emite componentes químicos que perjudican las condiciones naturales de la atmósfera.

1. **La conversión termoquímica:** utiliza vegetales y desechos orgánicos para producir calor mediante la combustión. Hay varias modalidades: pirolisis (descomposición térmica de materiales que contienen carbono cuando no hay oxígeno), hidrogenación (se obtienen hidrocarburos de desechos orgánicos), hidro gasificación (el estiércol se convierte en metano y etano, al someterlo a presiones elevadas), y finalmente, fermentación y destilación (se obtiene alcohol a partir de granos y de desechos vegetales).
2. **La conversión biológica:** se aprovecha el calor que se obtiene de la descomposición de las bacterias aeróbicas (las que requieren oxígeno). Dos claros ejemplos son el tratamiento de aguas negras y de fertilizantes que, sometidos a un proceso de descomposición, producen gas combustible gracias a la digestión anaeróbica.

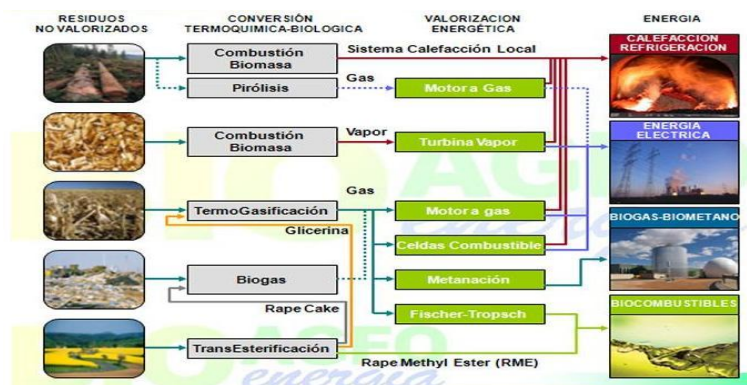


Figura 6: Biomasa

La energía neta disponible en la biomasa por combustión es de alrededor de 8MJ/kg para la madera verde, 20MJ/kg para la materia vegetal seca en horno, 55MJ/kg para el metano; en comparación con cerca de 23 a 30MJ/kg para el carbón. La eficiencia del proceso de la conversión se determina cuánto la energía real puede ser utilizada en forma práctica.

### 0.3.2. Proceso Anaeróbico

Es un proceso en el cual diferentes bacterias anaerobias, cuya cantidad depende de las sustancias orgánicas iniciales y de las condiciones específicas del proceso (temperatura y valor de pH), descomponen cierta materia orgánica, generando biogás. Este proceso consta de cuatro partes esenciales (fig.7):

- Hidrólisis: Los polímeros se descomponen en monómeros más simples.
- Acidogénesis: Los monómeros se convierten en ácidos grasos volátiles.
- Acetogénesis: Los ácidos grasos volátiles se convierten en ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno.
- Metanogénesis: Los acetatos se convierten en metano y dióxido de carbono, a la vez que se consume hidrógeno.

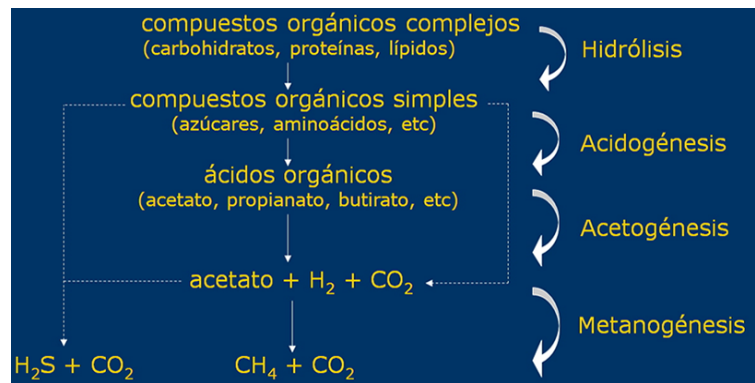


Figura 7: Partes de un proceso anaeróbico.

### 0.3.3. Biodigestores

En su forma simple es un contenedor (llamado reactor) el cual está herméticamente cerrado y dentro del cual se deposita material orgánico como excremento y desechos vegetales (exceptuando los cítricos ya que éstos acidifican). Los materiales orgánicos se ponen a fermentar con cierta cantidad de agua, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en fósforo, potasio y nitrógeno.

El proceso de biodigestión se da porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos en los excrementos que al actuar en el material orgánico produce una mezcla de gases (con alto contenido de metano) al cual se le llama biogás. El biogás es un excelente combustible y el resultado de este proceso genera ciertos residuos con un alto grado de concentración



de nutrientes el cuál puede ser utilizado como fertilizante y puede utilizarse fresco, ya que por el tratamiento anaeróbico los malos olores son eliminados. Los materiales que ingresan y abandonan el biodigestor se denominan afluente y efluente respectivamente.

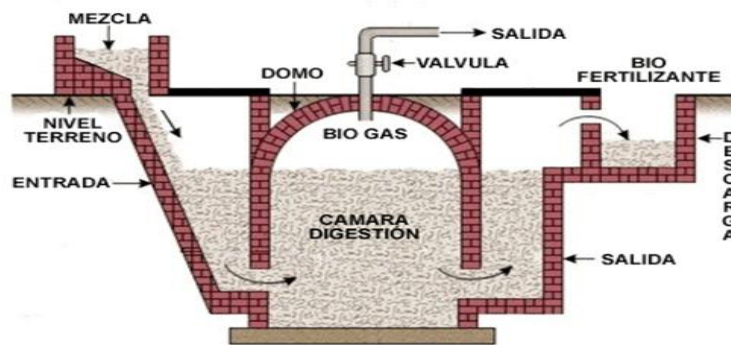


Figura 8: Biodigestor Tipo Chino

## Clasificación

De acuerdo a la frecuencia de cargado, los sistemas de biodigestión se pueden clasificar en:

- Batch o discontinuo.
- Semi continuos.
- Continuos.

### Sistema Batch o discontinuo

Este tipo de digestor se carga una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible. Normalmente consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás..

Este sistema es aplicable cuando la materia a procesar está disponible en forma intermitente. En este tipo de sistemas se usa una batería de digestores que se cargan a diferentes tiempos para que la producción de biogás sea constante. Este tipo de digestor es también ideal a nivel de laboratorio si se desean evaluar los parámetros del proceso o el comportamiento de un residuo orgánico o una mezcla de ellas.

De los sistemas Batch, el más usado es el OLADE - GUATEMALA, por la facilidad de construcción del sistema, la sencillez en el proceso de digestión, la alimentación del digestor, que puede ser con residuos vegetales o también mezclando residuos vegetales con pecuarios, y por su mayor producción de

biogás, en comparación con el modelo chino e hindú.

Cada metro cúbico de materia orgánica produce alrededor de medio metro cúbico de biogás y no hay forma de generar más gas del que ya se generó.



Figura 9: Biodigestor Batch Grande

### **Sistemas semicontinuos**

Es el tipo de digestor más usado en el medio rural, cuando se trata de digestores pequeños para uso doméstico. Entre los digestores clásicos tenemos: Tipo Chino (de Estructura fija), tipo Hindú (de campana flotante) y tipo balón (de estructura flexible). El modelo más extendido es el digestor tipo Chino, por su durabilidad, funcionalidad y seguridad.

Entre los de tipo hindú existen varios diseños, pero en general son verticales y enterrados. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación. El gasómetro está integrado al sistema, en la parte superior del pozo se tiene una campana flotante donde se almacena el gas, balanceada por contrapesos, y de ésta sale el gas para su uso; en esta forma la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de menos de 20 cm de columna de agua.

En cambio el biodigestor tipo chino consiste en una cámara de gas mas firme construida de ladrillos, piedra u hormigón. La cima y fondo son hemisféricos y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme. La tubería de la entrada es recta y extremos nivelados. Hay un tapón de inspección a la cima del digestor que facilita el limpiado. A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo de la planta, aumenta su presión, forzando al líquido en los tubos de entrada y salida a subir, y llegándose a alcanzar presiones

internas entre 1 y 1.5 m de columna de agua. A pesar de que el digestor tipo chino es poco eficiente para generar biogás, es excelente en la producción de bioabono, ya que los tiempos de retención son en general extensos.

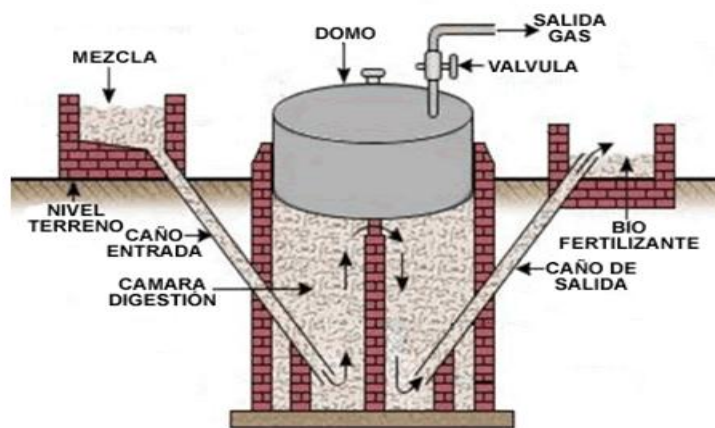


Figura 10: Bidigestor Tipo Indú y Tipo Balón

## Sistemas continuos

Este tipo de digestores se desarrollan principalmente para tratamiento de aguas residuales. En general son plantas muy grandes, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionarles calefacción y agitación, así como para su control. Por lo tanto este tipo de plantas son más bien instalaciones tipo industriales, donde se genera una gran cantidad de biogás el que a su vez se aprovecha en aplicaciones de la industria.

## Ventajas

- En las ciudades, los residuos sólidos orgánicos son un gran problema ya que éstos son dispuestos en rellenos sanitarios y al descomponerse contaminan las fuentes de agua subterránea debido al lavado del suelo por la filtración de agua (lixiviación) y también porque favorece la generación de patógenos. Los residuos orgánicos al ser introducidos en el biodigestor son descompuestos y así las basuras orgánicas se convierten en fertilizante y biogás, el cual evita que el gas metano esté expuesto ya que es considerado uno de los principales componentes del efecto invernadero. La conversión de aparatos al funcionamiento con gas es sencilla.
- El efluente lleva parte de sus nutrientes, en forma no disponible de inmediato para las plantas, es decir, los libera paulatinamente mediante ciertos procesos de descomposición de materia orgánica. De esta forma, la nutrición es lenta, pero continua.
- Aumenta el contenido del humus del suelo, el cual mejora la estructura y la textura del terreno, por lo cual presenta incrementos de la producción, al compararla con la de suelos no abonados. Además favorece la actividad de la lombricultura.
- Permite el ahorro de la cantidad de otros abonos convencionales sin disminución de la producción.
- El efluente puede ser utilizado como alimento para peces, en lagos o estanques artificiales; en este caso es necesario exponerlo al sol y al aire durante unos dos días, para evitar que consuma el oxígeno del agua, después de la aireación se distribuye uniformemente sobre el lago.

## Biogás

Con el término biogás se designa a la mezcla de gases resultantes de la descomposición de la materia orgánica realizada por acción bacteriana en condiciones anaerobias. Los principales componentes del biogás son el metano ( $CH_4$ ) y el dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Aunque la composición del

biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada, su composición aproximada se presenta a continuación:

<b>Gas</b>	<b>% del volumen total</b>
Metano ( $CH_4$ )	40 - 70
Dióxido de Carbono ( $CO_2$ )	30 - 60
Sulfuro de Hidrógeno ( $H_2S$ )	0 - 3
Hidrógeno ( $H_2$ )	0 - 1

Figura 11: Datos del biogas

Cuando el biogás está formado por un 60% de metano ( $CH_4$ ) y 40% de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) tiene una densidad de 1.22 gr/lt, siendo más ligero que el aire. El biogás es un gas combustible que arde gracias al metano, produciendo una llama azul, sin formar hollín; tiene un poder calorífico de 4,500 a 5,500 Kcal/ $m^3$ . El metano también es conocido con el nombre de “as de los pantanos”. 1m<sup>3</sup> de metano desprende alrededor de 8,900 - 9,500 Kcal y debido a la concentración de  $CO_2$  en el biogás (40%), baja su poder energético a un promedio de 5,000 Kcal.

A pequeña y mediana escala, el biogás ha sido utilizado en combustión directa en estufas simples (en la cocción de alimentos), en la iluminación (lámparas de gas o a gasolina), para calefacción y refrigeradoras. También el biogás puede ser utilizado como combustible para motores diesel y a gasolina, a partir de los cuales se puede producir energía eléctrica por medio de un generador. En el caso de los motores diesel, el biogás puede reemplazar hasta el 80% del acpm (Aceite Combustible Para Motor) o diesel (la baja capacidad de ignición del biogás no permite reemplazar la totalidad del acpm en este tipo de motores que carecen de bujía para la combustión). Aunque en los motores a gasolina el biogás puede reemplazar la totalidad de la misma, en general en los proyectos a nivel agropecuario se le ha dado preferencia a los motores diesel considerando que se trata de un motor más resistente y que se encuentra con mayor frecuencia en el medio rural.

Un metro cúbico de biogás totalmente combustionado es suficiente para:

- Generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 watt.

- Poner a funcionar un refrigerador de 1 m<sup>3</sup> de capacidad durante 1 hora.
- Hacer funcionar una incubadora de 1 m<sup>3</sup> de capacidad durante 30 minutos.
- Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas.

## Bioabono

En el proceso de fermentación se remueven sólo los gases generados ( $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ ) que representan del 5 % al 10 % del volumen total del material de carga. En el efluente se conservan todos los nutrientes originales (N, P, K) contenidos en la materia prima, los cuáles no se conservan en un proceso aeróbico porque son volátiles, éstos son esenciales para las plantas. El efluente es un valioso abono orgánico, prácticamente libre de olores patógenos<sup>4</sup>, y de fácil aplicación.

## Formas de aplicación del efluente

- **Efluente líquido:** Presenta ventajas como la alta disponibilidad de nutrientes y la buena absorción por parte de las plantas, puede aplicarse inmediatamente extraído del biodigestor, o almacenarse en tanques tapados por un periodo no mayor a 4 semanas, para evitar grandes pérdidas de nitrógeno.
- **Efluente compostado:** Otra manera de manejar el efluente es agregándole material verde (desechos de forraje de establo) y compostándolo, este método produce pérdidas de nitrógeno del 30 % al 70 %, pero tiene la ventaja de que el producto final es compacto, en forma de tierra negra, lo que facilita el transporte y aplicación.
- **Efluente seco:** El resultado del secado es una pérdida casi total del nitrógeno orgánico (cerca del 90 %). Las producciones observadas en cultivos al utilizar el efluente seco son las mismas que al usar estiércol seco o estiércol almacenado, este procedimiento se recomienda cuando se vayan a fertilizar grandes áreas, o la distancia a cultivos sea largo y difícil.

---

<sup>4</sup>Aunque el nivel de destrucción de patógenos variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85 % de los patógenos no sobreviven el proceso de biodigestión (Hohlfeld y Sasse 1986). En condiciones de laboratorio, con temperaturas de 35 °C los coliformes fecales fueron reducidos en 50 - 70 % y los hongos en 95 % en 24 horas (Marchaim 1992)

## 0.4. Desarrollo de un Sistema de Biodigestores para el comedor de la UNI

### 0.4.1. Objetivos

#### Objetivo General:

- Promover el uso de biogás proveniente de desechos orgánicos, para la producción de energía eléctrica a partir de la implementación de un biodigestor en la UNI.

#### Objetivos Especificos

- Abastecer al comedor de Biogás.
- Reducir los gastos del comedor en la compra de GLP.
- Manejar de manera adecuada los desechos obtenidos del comedor.
- Dar un mensaje ecológico a la juventud universitaria e incentivar a realizar otros proyectos relacionados al cuidado del medio ambiente.

### 0.4.2. Antecedentes

En la UNI las facultades de Sistemas (FISS-UNI) y de Mecánica (FIM-UNI), han sido las últimas en trabajar con biodigestores, con malos resultados, por así decirlo, que han llevado a que actualmente los proyectos hayan finalizado con los biodigestores en abandono.

Hablando de la FIIS-UNI el biodigestor que se construyó fue hecho de plástico, por esta razón éste se terminó deformando por el calor, además del abandono paulatino que se hizo.

En lo que se refiere a FIM-UNI, el inconveniente principal que se tuvo fue que nos eliminó el  $CO_2$ , por esta razón las tuberías que transportaban el biogás se terminaron corroyendo, y actualmente el proyecto está en abandono, aparte de que la zona en la que lo colocaron no era muy conveniente.

### Bioagricultura Casa Blanca

Bioagricultura Casa Blanca es una granja de una hectárea, ubicada en el valle del río Lurín, distrito de Pachacamac, a 35 km al sur de la ciudad de Lima. Cultiva una amplia variedad de productos como yuca (mandioca), papa, camote (boniato), frijol, maíz, hortalizas, banano, fresa y diversas hierbas aromáticas. También criamos cuyes (cobayos) para consumo de carne y para el reciclaje de nutrientes para la chacra. Hace 15 años, en 1994, la pareja de ingenieros: Eliseo Moreno y Carmen Felipe Morales decidió construir un

biodigestor, modelo chino, con el fin de aprovechar mejor el estiércol producido por los cuyes de una granja que en aquella fecha contaba con una población de 600 animalitos. Hasta esa fecha, el estiércol del cuy era usado principalmente como abono orgánico, ya fuera de manera directa o mezclado con los rastrojos o residuos de cultivos para la preparación de compost (abono producido bajo condiciones aeróbicas). Actualmente la población de cuyes fluctúa entre 900 y 1000 unidades produce aproximadamente tres toneladas métricas de estiércol. Es a partir de esta biomasa de origen animal producida en la chacra, a la cual se añade la biomasa vegetal (residuos de cosechas), que se promueve el reciclaje. Mediante estos procesos podemos producir no solamente bioabonos, en forma líquida o sólida, sino también biogás. El proceso que se realiza usando el biodigestor es en cierta forma una réplica de lo que ocurre en la naturaleza cuando la biomasa enterrada durante millones de años se descompone en condiciones anaeróbicas y produce un yacimiento considerable de gas natural o biogás.

El biodigestor de Bioagricultura Casa Blanca tiene una capacidad de diez metros cúbicos. La cámara central tiene tres orificios que están conectados:

- Un orificio central, que sólo se abre una vez al año, para la carga inicial y la descarga.
- Un orificio lateral, conectado a un tubo que va cerca del fondo de la cámara y que sirve para la alimentación periódica
- Un tercer orificio, conectado a una cámara lateral por donde sale el bioabono líquido o biol.

La carga inicial o carga de fondo con la que se alimenta cada año el biodigestor está constituida por un precompost que, en el caso de Bioagricultura Casa Blanca, es preparado a base de rastrojo de maíz y estiércol de cuy. Una tonelada de este precompost, que tiene de tres a cuatro semanas de preparación, y con una temperatura de entre 50 y 55° C, se introduce por la boca central y se mezcla con 200 litros de rumen o bazofia proveniente del estómago del ganado vacuno recién sacrificado; este material se obtiene de un matadero o camal de la zona, sólo una vez al año y, generalmente, de forma gratuita pues es considerado material de descarte. El rumen o basofia contiene una carga alta de microorganismos anaeróbicos responsables del proceso de fermentación y la producción de biogás, en particular de metano. Luego se añade agua hasta completar un volumen de aproximadamente ocho metros cúbicos, dejando los dos metros cúbicos restantes para el almacenamiento del biogás en la parte superior de la cámara central del biodigestor. Inmediatamente, se procede a cerrar el orificio central con una tapa pesada sobre la cual incluso se colocan piedras para evitar que sea levantada por la presión del biogás producido. Cada semana se alimenta el biodigestor con una mezcla de estiércol de cuy y agua, en proporción de



1:3, lo que nos permite contar con un volumen suficiente de gas para toda la semana. Al cabo de un año de la alimentación inicial del biodigestor se hace la descarga, obteniéndose el bioabono sólido o biosol. En el modelo original, la descarga se realiza por el orificio central, lo que es muy incómodo y complicado. Para facilitar la descarga del biosol se ha efectuado una modificación al diseño original del biodigestor, que consiste en la construcción de una ventana lateral, que da a un ambiente contiguo al biodigestor, y está cerrada herméticamente con una tapa de hierro galvanizado, sujeta con pernos.

El biodigestor de Bioagricultura Casa Blanca viene funcionando eficientemente desde su construcción hace 15 años y gracias a la producción de biogás la pareja de ingenieros han podido ahorrar de manera significativa el costo de energía eléctrica de su casa. Una vez que el biodigestor comienza a producir biogás (a los cinco o seis días en verano), esta energía puede ser utilizada como combustible en la cocina o para el alumbrado en forma directa, mediante lámparas de gas. Si se cuenta con un generador eléctrico que funciona con gasolina, previa modificación del carburador, se puede hacerlo funcionar con el biogás (metano) para producir electricidad. Por otro lado, la pareja de ingenieros obtienen de manera constante bioabono líquido o biol, que no sólo es un excelente abono orgánico para sus cultivos, sino que, por su alto contenido de fitohormonas, es un valioso activador del crecimiento y floración de las plantas, en particular de los frutales. El tercer producto del biodigestor que se obtiene anualmente al realizar la descarga, es el bioabono sólido o biosol, el cual es un excelente abono para los cultivos. Dado el creciente interés por los biodigestores, cada año, cuando se va a descargar y volver a cargar el biodigestor, se ofrecen cursos con el lema "aprender haciendo", a través de los cuales los participantes pueden aprender de manera muy práctica cómo está construido un biodigestor, cómo funciona y cómo se descarga y se vuelve a cargar.



Figura 12: Biodigestor de la finca Bioagricultura Casa Blanca

## Conocimientos adquiridos de la visita a Bioagricultura Casa Blanca

El biodigestor de la finca Bioagricultura Casa Blanca, es uno de tipo chino de 10 m<sup>3</sup> de capacidad. La primera carga se hace una vez al año y comprende una mezcla de pre-compost, rumen y agua, en un volumen que ocupe el 80 % de la capacidad del biodigestor, esta mezcla produce biogás a partir de los primeros 15 días. Luego se alimenta semanalmente con una mezcla, bien diluida (preparada con un día de anticipación), de pre-compost y agua (fig. 13).

Material	Cantidad
Pre-compost	50 Kg
Agua	150 l

Figura 13: Alimentación semanal del biodigestor de Casa Blanca.

Gracias al biodigestor don Ulises y doña Carmen obtienen 3 m<sup>3</sup> de biogás diarios. Se ha conectado una válvula de seguridad con capacidad de 150 milibar (fig. 14), para dar seguridad en caso de que el consumo de biogás sea bajo, el exceso se liberará al medio ambiente. En dicha válvula de seguridad también se puede medir la presión actual del gas, anteriormente se usaba un manómetro tipo Bourdon, el cual se malogró al poco tiempo debido al sulfuro de hidrógeno que contiene el biogás.



Figura 14: Válvula de seguridad de 150 milibar.

Para evitar el desperdicio del biogás en caso de bajo consumo, se utilizan cámaras de camiones para almacenarlo (fig. 15).

El sulfuro de hidrógeno es un gas que comprende el 30 - 40 % del volumen total del biogás. Este no interfiere con la capacidad energética del biogás, pero tiene un mal olor, lo cual se percibe cuando se quema el biogás. Para



Figura 15: Cámaras de camión utilizadas para almacenar biogás.

evitar esta molestia en alguna parte de la tubería se introduce viruta de hierro (fig. 16), en el caso de Casa Blanca esto se obtiene de los talleres de mecánica (fig. 17). El sulfuro de hidrógeno reacciona con el óxido de hierro dando como resultado sulfuro de hierro, el cual queda en el interior de la tubería, y vapor de agua. Para hacer el cambio de viruta de hierro se espera a que el mal olor del sulfuro de hidrógeno vuelva a percibirse, lo cual indica que el hierro se ha agotado.



Figura 16: Sección más ancha de la tubería, donde se introduce la viruta de hierro.

Como el biodigestor se alimenta semanalmente con 150 litros de desechos, se deben extraer 150 litros de biol antes de cada alimentación (fig. 18). El biol no es un abono que huele mal (fig. 19), el olor del biol puede ser más o menos intenso de acuerdo a los desechos que se estén utilizando, por ejemplo el biol obtenido utilizando gallinaza es mas oloroso que el obtenido utilizando desechos de cuy.

El biol es un abono fácil de comercializar, y su precio en el mercado oscila entre 1.5 - 2 soles por litro. Casa Blanca lo vende a S/.2 (fig.20).



Figura 17: Viruta de hierro, utilizada para eliminar el sulfuro de hidrógeno.

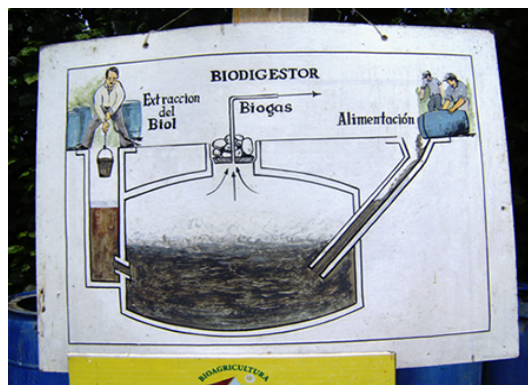


Figura 18: Funcionamiento del biodigestor.



Figura 19: Obtención de 120 litros semanales de biol.



Figura 20: El biol se vende en botellas plásticas de diferentes tamaños.

Los conocimientos obtenidos al visitar Casa Blanca son:

- El biodigestor no va a ocasionar una plaga de mosquitos, porque si bien se alimenta con desechos que tienen mal olor, este no se percibe una vez ingresado al biodigestor (figuras 21 y 22).
- El biol al ser un abono que no tiene mal olor se puede almacenar en cilindros (fig. 19), mientras se espera un comprador o darle un uso adecuado.
- Se debe buscar un uso adecuado para el biol, ya que se obtiene en grandes cantidades.



Figura 21: Orificio de alimentación del biodigestor de Casa Blanca.



Figura 22: Orificio de extracción del biol del biodigestor de Casa Blanca.

## UNITRAR

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UNI (UNITRAR) fue construida en los años 1994 y 1995, y entró en funcionamiento en enero de 1996. Esta planta se encuentra ubicada en la parte norte del campus universitario, sector 'T' y ocupa una superficie de 4.5 Ha. La figura 1 muestra el esquema de la planta UNITRAR.

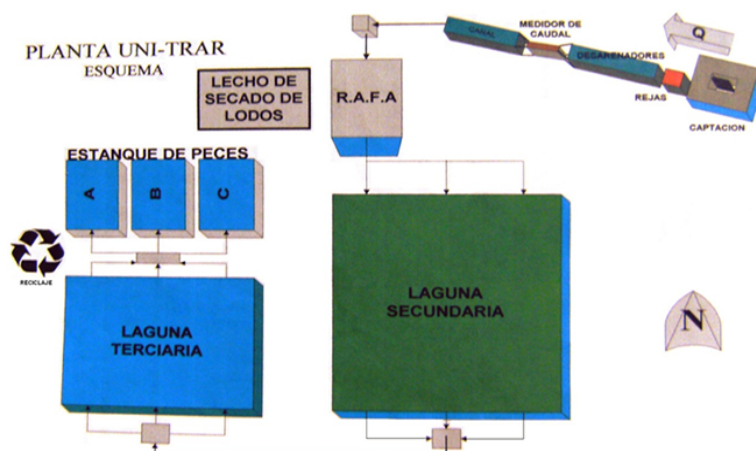


Figura 23: Esquema de la planta UNITRAR.

La planta toma las aguas residuales provenientes de los asentamientos humanos: El Ángel y El Milagro, ubicados en el distrito de Independencia. De toda el agua que ingresa, se selecciona un caudal de 10 l/s (fig.24).



Figura 24: Selección de un caudal de 10 l/s para la purificación.

## Pre-tratamiento de las aguas

### Cámara de rejas

Se cuenta con dos tipos de rejas, una de 25 mm y otra de 15 mm de separación entre barras. En estas unidades se retienen los desechos sólidos grandes que son arrastrados por las aguas residuales (bolsas, restos de vegetales, animales muertos, etc). Las rejas pequeñas (fig.25) se encuentran ubicados en dos grupos en paralelo, y solo funciona uno de esos grupos, el otro entra en funcionamiento cuando el primero se llena de desechos, esta disposición resulta muy útil ya que la limpieza se realiza cada semana.



Figura 25: Rejas de 15 mm de separación entre barras.

Los desechos que quedan en las rejas se arrojan en una fosa común (fig.26), la cual inicialmente tiene una profundidad de 7 a 8 m, luego se arroja sobre éstos cal para evitar que se proliferen mosquitos.

### Cámara de rejas



Figura 26: Fosa común.

Permite retener las partículas con peso específico superior a los sólidos orgánicos putrescibles de las aguas residuales. Este desarenador es de flujo horizontal, de sección rectangular, con dos canales de sección trapezoidal de uso alternado para la acumulación de arenas (fig.27).



Figura 27: Canal A y B del desarenador.

Para controlar la velocidad del flujo de agua residual en los desarenadores (0.2 m/s) se emplea un vertedero Sutro (fig.28) instalado aguas abajo.





Figura 28: Vertedero Sutro.

## Tratamiento de las aguas

### Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)

Al RAFA ingresan 8 l/s, debido a que se desvía un caudal de 2 l/s del agua residual para ser purificado mediante filtración. En la entrada del reactor se encuentra una cámara repartidora de caudal de la cual salen 2 tuberías de PVC pesado de 6" diámetro que conducen el caudal afluente a dos distribuidores ubicados en la parte superior del reactor. Cada distribuidor (fig.29) es una estructura rectangular de 0.9 m largo por 0.6 m de ancho y 0.7 m de altura. En cada distribuidor hay doce compartimentos, cada uno con un vertedero triangular para permitir una distribución uniforme del caudal.



Figura 29: Distribuidor de caudal ubicado en la parte superior del RAFA.

El reactor es una estructura de concreto armado de 11.4 m de largo por 8.4 m de ancho y 6 m de altura. De los seis metros de altura, 4 m corresponden al digestor, 1.5 m al sedimentador y 0.5 m de borde libre. El reactor tiene un dispositivo de extracción de exceso de lodos, ubicado a

1.5 m de alto desde el fondo del reactor. Además cuenta con 4 salidas de extracción de lodos (fig.30), para toma de muestras ubicadas a 1, 1.5, 2, y 2.5 m por encima del nivel de fondo.



Figura 30: Tuberías empleadas para extraer lodo de cuatro alturas diferentes.

Cada tres meses se cierran la valvulá que alimenta al RAFA, para luego extraer el lodo hacia un lecho de secado (fig.31), en el cual el agua es extraída del lodo principalmente por percolación y en menor cantidad por evaporación. Una vez secado se mezcla con pasto para formar compost y emplearlo en el vivero que se encuentra al costado de las lagunas.



Figura 31: Lecho de secado de lodos.

La producción promedio de biogas generado es 5 m<sup>3</sup>/dia. Es conocido que en el tratamiento anaeróbico hay solamente conversión de la materia orgánica, otros componentes indeseables del desagüe como patógenos no son afectados significativamente por dicho tratamiento. Es por eso que para tener una buena purificación de las aguas servidas se emplean las lagunas de estabilización en las cuales se da un proceso de simbiosis entre las bacterias aerobicas y las algas, las bacterias toman el oxígeno del aire y los patógenos existente en el agua y producen CO<sub>2</sub>, las algas, realizan el proceso de fotosíntesis, es decir, toman el CO<sub>2</sub> y liberan O<sub>2</sub>. Es así como el agua obtenida de la laguna terciaria tiene un nivel de pureza de 30 DBO, habiendo ingresado al RAFA con 260 DBO, y a la laguna secundaria con entre 80 y 100 DBO. Dicha agua se emplea en:

- La crianza de peces de la especie: "Tilapia del Nilo", estos peces se alimentan de los microorganismos que hay en el agua, razón por la cual no es necesario brindarles alimentación.
- El riego de los parques y jardines de la UNI, resulta un agua muy nutritiva para las plantas debido a los microorganismos que contiene.

#### **0.4.3. Criterios para considerar en el diseño de un Biodigestor**

Según lo investigado en los proyectos previos, y teniendo en cuenta lo siguiente:

- Se dispone diariamente de 750 litros de alimentos cocidos en el comedor, cuya densidad promedio es muy cercana a la del agua (1350 Kg/m<sup>3</sup>).
- La mayoría de meses del año (aproximadamente 8 meses) la temperatura del medio ambiente es baja (18 - 20 °C), lo cual disminuye la producción de biogás.
- La producción de biogás depende de la temperatura del biodigestor, y de los desechos que se utilicen, es decir, la relación de carbono e hidrógeno de los desechos.
- Los desechos crudos que se obtienen del comedor no se emplearán debido a que demoran mucho en descomponerse, además porque algunas veces están mezclados con cáscaras de cítricos (mandarina, naranja) las cuales producen acides.
- El pH en el tanque del biodigestor debe ser alrededor de siete. Puesto que los procesos anaeróbicos producen ácidos, el problema más frecuente con el pH es aquello de acidez, al hacer una medida de ésta con una cinta litmo, y el resultado sea menor que siete, se debe agregar un poco de cal para neutralizar el ácido. Como grandes cantidades de cal no son solubles en la mezcla y pueden hacer daño a las bacterias, no ingrese más de 500 mg de cal por cada litro de líquido que está en el biodigestor.
- No es recomendable usar metales dentro del tanque o en la tubería que lleva el biogás, porque el metal puede oxidarse, causando cambios químicos no deseados con la mezcla productiva del biodigestor (Caso biodigestor de FIM - fig.32).
- Se debe colocar alambrina (esponja metálica para lavar ollas) en una parte de la tubería, esto es para filtrar impurezas del biogás al salir del biodigestor antes de ser quemado en la cocina. Un biogás no filtrado va a funcionar igual, sólo que las impurezas pueden manchar las ollas. También porque el sulfuro de hidrógeno (que corroe las tuberías y da mal olor) precipita con el óxido de Fe (alambrina) y forma sulfuro de hierro.

#### 0.4.4. Datos del comedor

Para almacenar el GLP el comedor de la UNI tiene dos tanques de 1400 galones de capacidad c/u. El consumo diario del comedor está entre 60 y 70 galones, por lo cual, el comedor es abastecido de gas cada 2 meses. El comedor provee aproximadamente la siguiente cantidad de desechos por día:



Figura 32: Biodigestor de mecánica.

Tipo de desechos	Volumen (litros)
Crudos	375
Cocidos	750

Figura 33: Datos del Comedor

#### 0.4.5. Cálculo de la masa total a usar en el biodigestor:

Como ya se ha dicho anteriormente sólo se va usar los desechos cocidos. Para calcular un aproximado de la masa total diaria de los desechos cocidos que se obtienen del comedor se calculó la densidad promedio de dichos desechos, ya que éstos se miden en unidades de volumen. Los desechos se guardan en baldes de tres colores (fig.34), en donde:

- El color verde indica que se van a almacenar desechos cocidos.
- El color rojo indica que se van a almacenar desechos crudos.
- El color azul indica que se van a almacenar los desechos que no son incluidos en los dos colores anteriores (guantes, bolsas, cartón, papel, etc.).

Se tomó una pequeña muestra de uno de los baldes de color verde (fig.35), luego se midió su masa y su volumen en un laboratorio.



Figura 34: Baldes para almacenar los desechos del comedor.



Figura 35: Balde de color verde en donde se almacenan los desechos cocidos.

La densidad obtenida es 1.083 Kg/l, pero como no todos los baldes de color verde tienen la misma cantidad de agua (en algunos solo hay desechos sólidos), la densidad promedio total es: 1.35 Kg/l. **Por lo tanto se dispone de una masa aproximada de 750 Kg.**

#### 0.4.6. Producción de biogas

El biodigestor tiene una capacidad de 8 m<sup>3</sup>. El volumen ocupado por la biomasa en descomposición es el 75 % del volumen total, es decir 6 m<sup>3</sup>. La primera carga contiene bazofia (rumen), debido a su alto porcentaje de bacterias anaerobias, mezclado con un precompost (rastrojo con estiércol de cuy, descompuesto aeróbicamente de 2 a 3 semanas) y agua. Esta se deja de 10 a 15 días. Si la temperatura del medio ambiente es muy baja, se agregará agua caliente a la mezcla diaria de alimentación, para maximizar la producción de biogás. De ser necesario, para obtener buenas cantidades de biogás, se mezclarán los desechos de comida con estiércol de cerdo (biomasa mas eficiente). Si temperaturas están por debajo de 20°C, la producción tiende a bajarse también. Si llega a ser mucho más bajo que eso, tendrá muy poca producción. El pH en el biodigestor debe ser alrededor de siete. Si



Figura 36: Muestra tomada de los desechos cocidos.



Figura 37: Medida de tres litros de la muestra.

el resultado es menos de siete, agregue un poco de cal para neutralizar el ácido. No ingrese más de 500 mg de cal por cada litro de líquido que está en el biodigestor. Como los desechos son proveídos de lunes a viernes, se necesitará un biodigestor continuo, que para nuestro caso elegimos el tipo balón ya que es económico y fácil de hacer , ademas que va puede ser llenado casi diariamente. Por lo tanto la ayuda mensual en consumo del biogás sería la indicada en la tabla siguiente(fig.40):

También hay que considerar que el poder calorífico del biogás es ligeramente menor que el GLP (debido a la presencia de CO<sub>2</sub> en el biodigestor), es decir, para realizar la misma tarea se va a consumir más biogás que GLP. Según datos empíricos el valor energético del biogas esta entre 20-25MJ/m<sup>3</sup>,y del GLP 33-38 MJ/m<sup>3</sup>. El GLP abastece al comedor de una



Figura 38: Cálculo de la masa de la mezcla.

Volumen (l)	3
Masa (Kg)	3,25

Figura 39: Medidas realizadas a la muestra sacada del comedor

energía máxima de 201,4 MJ mensuales y el biogás abastecería mínimamente de 20 MJ mensuales, es decir el biogás reemplaza energéticamente al 10% del GLP.

#### 0.4.7. Costos en la construcción del biodigestor

Un aproximado de los gastos relacionados a la construcción de un solo biodigestor tenemos:

**Por lo tanto el gasto total asociado a la construcción de un biodigestor es: S/1590.**

Como el comedor gasta S/10398.78 cada mes debido a la compra de 1400 galones de GLP, y como se vió anteriormente el biogás reemplaza energéticamente al 10% del GLP entonces **con la construcción del biodigestor se estaría ahorrando S/1039.87, y se estaría recuperando prácticamente la construcción del biodigestor**(Ver fig.41).



Consumo del comedor	Produccion de Biogas
5,3	1

Figura 40: Tabla de volumen de Biogas por kilogramo

	Precio/unidad ( \$/.)	Cantidad	Total ( \$/.)
Biodigestor	150	1	150
Tubos de 6"	10	2	20
Elasticos	7	10	70
Forros de tubo	10	6	60
Abrazaderas de 6"	5	2	10
Abrazaderas de 4"	4,5	2	9
Tubos cortados de 4'	6	2	12
Cobertor	100	1	100
Tuberia de 1/2"	6	25	150
Niples	3,5	2	7
Codos	4	3	12
Coplas	5	1	5
Tees	4	3	12
Tapones	5	1	5
Union Patente	7	1	7
Llave Patente	20	1	20
Teflón	6	1	6
Cinta de Parchado	10	1	10
Reservorio	150	1	150
Válvula de Presión	5	1	5
Trampa de sulfuros	10	1	10
Removedor de nata	10	1	10
Quemador Cocina	150	1	150
Mano de obra	150	2	300
Movilidad	150	2	300
	<b>Total</b>	<b>=</b>	<b>1590</b>

Figura 41: Tabla de volumen de Biogas por kilogramo

#### 0.4.8. Diseño del biodigestor:

El biodigestor tipo balón, es el mas barato y el de mas fácil construcción, entre todos los tipos de biodigestores. Según datos empíricos, se tienen ciertos tamaños estándares, de acuerdo a la cantidad de biogás a obtener. El diseño final del biodigestor es:

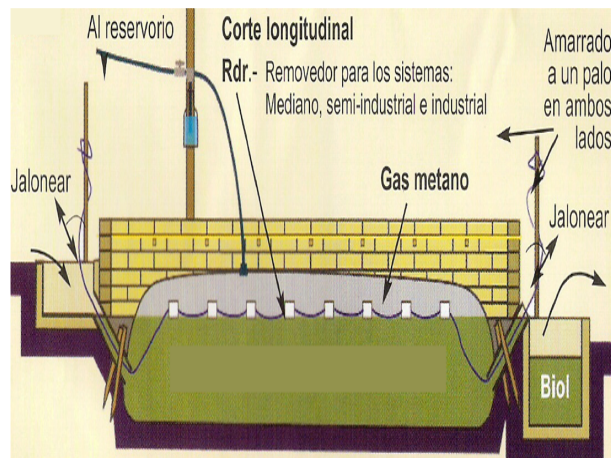


Figura 42: Diseño final del biodigestor.

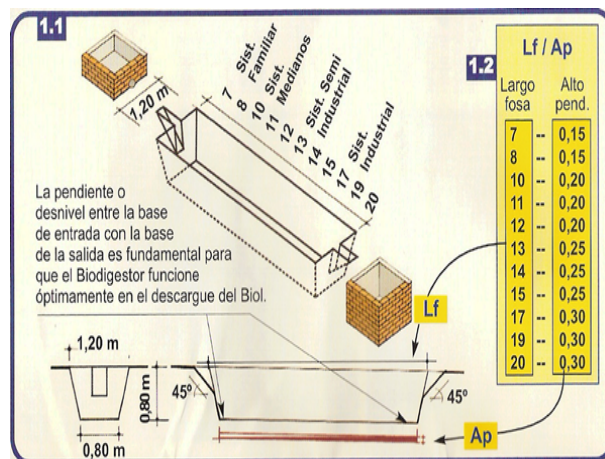


Figura 43: Diseño de la zanja para el biodigestor , deposito de la biomasa y extracción del bioll.

#### 0.4.9. Pasos para la construcción del biodigestor

1. Primero se ubica la zona, como va suministrar el comedor lo mas razonable que este muy cerca de la zona de las cocinas , en este caso se propone hacerlo en la zona de los jardines del comedor lo mas cerca a este.
2. Se traza la fosa es de 1,20m. de ancho por 0,80m. de alto , como en nuestro caso vamos a elegir uno de tipo mediano ( debido a la cantidad de materia prima que se tiene), entonces el largo será 10m.
3. Posteriormente se pasa a preparar los materiales:

- Primero cortes perpendiculares a la tubería.
- Fijar bien el tubo y girar la tarraja presionando su ingreso.
- Poner teflón unas 6 vueltas.
- Cubrir con pegamento PVC.
- Enroscar las piezas y apretar bien a lo que de la mano.
- Introducir 50cm el tubo de 6' al biodigestor y plegar este como acordeón.
- En un espacio de 30 cm. apretar muy bien con las ligas.
- Poner los protectores o forros de gomas y asegurarlos fuertemente con los abrazaderas grandes.
- Doblando 10 cm. la parte sellada del reservorio , proceder a asegurarlo como indican las figuras.

4. Para las instalaciones se tiene que tomar en cuenta:

- Los laterales y el fondo de la fosa deben estar planas libres de protuberancias y sin árboles seca que en el futuro perjudiquen sus raíces.
- Acolchonar con pajas , cebadas o avenas y cáscaras de arroz , cubriéndolos con bolsas.
- Asegurar bien los tubos de entrada y salida con las estacas y alambre de amarre , luego de jalar a los costado el biodigestor para que al inflarse no se quede plegado en al base.
- Pasar el tubo de 2 metros por el orificio reforzado del cobertor (carpa solar) , para luego cubrirlo toda la fosa fijando temporalmente con apoyos de piedras por los costados.
- Armar la válvula de presión con agua a 8cm. de alto en la botella y la llave de paso cerrada al pie del poste.
- La primera carga se debe realizar con una cantidad de 3.000 litros de agua ( 15 turriles) y unos 1.500 kilos de estiércol fresco ( 20 carretillas). En el trópico tarda 12 días en estar listo el gas metano para su uso , en los valles 30 días y en el altiplano unos 60 días.
- Mientras esperemos a que se genere el gas metano procedemos a instalar la red y protegeParedes de adobe alrededor del biodigestor , 5 adobes de alto a un lado y 3 adobes al lado contrario. La válvula de presión se sube a una altura de 2 metros . Los depositos de entrada y salida se los realiza de ladrillos y cemento el biodigestor.
- En un lugar resguardado , bajo el techo , colgamos el reservorio con al unión patente y la trampa de sulfuros antes del ingreso

de gas al reservorio y a la red (cada 6 meses cambiar la viruta de hierro de la trampa).Seguidamente terminamos de instalar los puntos de uso que se requieren de acuerdo a las necesidades.

- Una vez cargada de gas el reservorio fijarse que no se raspe con nada (para que no se malogre y se genere rotura o pinchazos. EN caso de pinchadas, limpiar bien el área con un trapo limpio y aplicar la cinta pegante (cp)). para cuando baje la presión aplicar una pita con nudo corredizo y colgar un peso en un extremo.
- Con el tiempo se acumula liquido dentro de las tuberías , para eso se debe colocar una T con un tapón (desangrador) en la parte donde llegue a colgarse esta la tubería.
- Cortes esquematicos.

5. Reforzar el cobertor con listones , correa de goma , clavos y adobes.

6. Finalmente no olvidar cargar el biodigestor todos los días ya que es continuo.

#### **0.4.10. Reciclaje en los restaurantes de la Universidad**

Con el objetivo de aumentar la cantidad de biogás producido era recolectar los desperdicios de los restaurantes que funcionan dentro de la Universidad , el problema que se encontró es que todos los restaurantes sin excepción , no se paran su desechos como los hace el comedor por ejemplo. En ese sentido, se propone realizar algunas acciones para aprovechar los desperdicios de los mencionados restaurantes:

- Iniciar una campaña de reciclaje en la UNI , introduciendo en esta a los restaurantes de la Universidad.
- Comprar baldes de colores(3 colores) y distribuirlos a todos los restaurantes de la Universidad.
- Separar la comida en desperdicios crudos , cocidos y otros( cartón, botellas,plástico), es decir algo análogo al comedor.

#### **0.4.11. Reciclaje de los barrios aledaños a la UNI**

Esta es otra medida para aumentar la cantidad de biogas, propuesta relacionada con las zonas aledañas a la UNI , precisamente las de la parte posterior que colida con el cerro. La idea consistía en :

- Primero concientizar a la población para que colaboren son el reciclamiento de la basura, pidiéndoles que colaboren seleccionando su basura , por lo menos en dos grupos : lo que son desechos orgánicos en una bolsa, y lo que es cartón, papel, plástico y otras cosas relacionadas con esto , en otra bolsa.

- Luego los desechos orgánicos se pueden usar para realimentar al los biodigestores
- Se estaría mandando un mensaje ecológico a la población y acostumbrándola a reciclar.

#### **0.4.12. Aprovechamiento del biogás en motores**

En esta parte veremos , la parte de biogás aplicado a motores . En el CTIC-UNI hay un proyecto denominado “carro autónomo”, este trata de que un vehículo pueda recorrer toda la UNI por si mismo sin necesidad de controles. Como todo vehículo necesita combustible par andar , se han hecho pruebas con baterías pero a lo mucho puede andar 10 minutos.Si se quisiera que el biogás producido por el comedor abastezca también al carro , tendremos que analizar cuanto de energía necesita el motor para andar. El ingeniero Alex Contreras de la facultad de Ingeniería Mecánica ha hecho pruebas con motores de combustión interna (MCI), utilizando como combustible al biogás. Del estudio que realizó se tomaron los siguientes datos: La eficiencia de los combustibles en los MCI, asumiendo como un 100 % la eficiencia de la gasolina, es:

- GLP 95 %.
- Gas Natural 90 %
- Biogás 60 - 70 % (Dependiendo de la composición del biogás)

El ingeniero Contreras trabajo con el biodigestor de mecánica, empleando 10 m<sup>3</sup> de biogás, a 40 - 50 milibar, haciendo funcionar un grupo eléctrico de 5 KW durante 1.5 horas. Es decir esos 10 m<sup>3</sup> le dieron algo de 324MJ de energía al motor. Pero como se sabe lo que produce el biogás del comedor es solo 20 MJ , muy poco para abastecer tal grupo eléctrico. Lo que se tendría que ver aquí es cual es el tamaño y el diseño del motor para el carro autónomo dependiendo de eso podemos dar una aproximación mas exacta.

#### **0.4.13. Conclusiones**

- Con la construcción de un biodigestor en las cercanías del comedor de la UNI, se estaría ahorrando S/3899.54 mensualmente.
- De lo dicho anteriormente se concluye que los gastos en el comedor van a reducir considerablemente, y se podría invertir en otras cosas como más raciones para los alumnos.
- Se podría manejar de una mejor manera los desperdicios que bota el comedor, y sobre todo que el comedor colaboraría con su propio abastecimiento.
- Finalmente, se daría un mensaje ecologista y podría servir de base para nuevos proyectos en las diferentes universidades del País.

#### **0.5. Resultados**

- Se logro hacer un análisis factibilidad del proyecto de un sistema de biodigestores, comprobando que se ahorra mensualmente S/3899.54 de los S/10398.78 que gasta el comedor, claro que este es sólo un estudio a nivel perfil.
- Se logro investigar los diferentes usos y aplicaciones que hace la UNI en cuanto a producción de energías limpias se refiere.

#### **0.6. Tareas Futuras**

- Hacer un estudio a nivel mas avanzado del proyecto de los biodigestores, es decir a nivel de prefactibilidad y si es posible de factibilidad.
- Luego de esto si se concluye que el proyecto es factible, pasar a las etapas de inversión y realización del proyecto.
- Realizar pruebas en un biodigestor pequeño, para proyectar datos reales.
- Analizar nuevas ideas para la utilización de energías limpias y de alternativas ecologistas en la UNI.

## 0.7. Conclusiones Finales del Trabajo

- Se realizó una recopilación de los principales tipos de energías limpias, relacionándolo con el territorio peruano y particularmente adjuntando información de lo que se viene haciendo en la UNI en cuanto a producción de energías limpias se refiere.
- A través de la investigación que hicimos se profundizó en cuanto a producción de bigas, y los diferentes tipos de biodigestores, lo cual nos sirvió mas adelante en el diseño del biodigestor, para un futuro proyecto en la UNI.
- Del estudio de perfil que se realizo para el proyecto de biodigestores, se puede concluir que sería rentable hacer el proyecto porque así se estaría ahorrando poco más de la tercera parte de lo que se gasta en el comedor (para ser exactos S/3899.54), en cuanto a gas se refiere.

# Bibliografía

- [1] <http://www.energiaslimpias.org/>
- [2] <http://www.greenpeace.org/argentina/cambio-climatico/revolucion-energetica/energ-as-limpas>
- [3] <http://fc.uni.edu.pe/mhorn/Energia%20solar%20en%20Peru%20perueconomico.pdf>
- [4] <http://www.textoscientificos.com/energia/biomasa>
- [5] <http://revista.consumer.es/web/es/20010501/medioambiente/>
- [6] <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Departamentos/DFyQ/energia/e-3/biomasa.htm>
- [7] <http://biodigestores.org/>
- [8] <http://waste.ideal.es/biodigestores.htm>
- [9] <http://ricardo.bizhat.com/rmr-prigeds/biodigestores-biogas.htm>