

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TÍTULO DEL PROYECTO**

**“REDISEÑO DEL PROTOTIPO PARA GENERAR ELECTRICIDAD  
USANDO MATERIA ORGÁNICA (BASURA).”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**REALIZADO POR:**

**CHRISTIAN OMAR RODRÍGUEZ SILVA**

**DIRECTOR: ING. LUÍS CUMBAL, PhD**

**CODIRECTOR: ING. JOSÉ GUASUMBA**

**SANGOLQUÍ, 2007**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto “REDISEÑO DEL PROTOTIPO PARA GENERAR ELECTRICIDAD USANDO MATERIA ORGÁNICA (BASURA)”, fue realizado en su totalidad por el señor Christian Omar Rodríguez Silva, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

---

**Ing. Luis Cumbal, PhD**  
**DIRECTOR**

---

**Ing. José Guasumba**  
**CODIRECTOR**

**Sangolquí, 2007-05-17**

# **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

“REDISEÑO DEL PROTOTIPO PARA GENERAR ELECTRICIDAD USANDO  
MATERIA ORGÁNICA (BASURA).”

**ELABORADO POR:**

---

**Sr. Christian Omar Rodríguez Silva**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE  
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Sangolquí, 2007-05-17**

## **DEDICATORIA**

Al final de mis estudios universitarios dedico el presente proyecto a DIOS y a mi Familia, en especial a las 3 personas mas importantes de mi vida a mi papa Patricio, a mi mama Maggi y a mi hermana Patricia quienes han sido los pilares fundamentales de mi vida y en donde me apoyo para seguir adelante; gracias de todo corazón a mis padres que con su esfuerzo, paciencia, dedicación y amor me han sabido inculcar valores y principios que no se aprenden en las aulas para hacerme un hombre de bien, ayudarme a conseguir mis metas y apoyarme en los buenos y malos momentos de mi vida, gracias por haberme enseñado el verdadero significado de la humildad, el respeto, la sinceridad y la perseverancia para seguir siendo cada vez una mejor persona; gracias a mi hermana por su amor y apoyo incondicional a quien respeto, admiro y quiero mucho, con quien he pasado momentos muy buenos y malos pero que juntos hemos luchado y seguido adelante. Estas 3 personas son por las que vivo y lucho día tras día no olviden que los respeto, los admiro y los amo con todo mi corazón. Que Dios les cuide y bendiga siempre.

A mis tías Silvia, Gladys, Laura y Mercedes quienes son mis segundas madres y a quienes admiro por ser unas personas de gran corazón que con su apoyo moral, espiritual y económico me han ayudado a salir adelante en este largo camino, en quienes puedo confiar y apoyarme cuando lo necesite gracias por todo su amor y que Diosito siempre las bendiga.

A mis amigos y amigas con quienes he compartido en las aulas y fuera de ellas los mejores momentos de mi vida; gracias por apoyarme y aconsejarme cuando lo necesitaba y con quienes espero seguir compartiendo muchos momentos mas, que tengan muchos éxitos en su vida, los quiero mucho y que Dios los bendiga.

**Christian Rodríguez S. - CORS**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primero a Dios por darles la vida a mis padres, a mi hermana y a mí y por haberme dado la sabiduría, la fuerza y la salud para seguir adelante y crecer como un hombre de bien.

A mi familia ya que son la razón de alcanzar todos mis metas y sueños y lo seguirán siendo por el resto de mi vida.

A mis amigos por dedicarme su tiempo, por ayudarme y aconsejarme además de darme la fuerza necesaria de seguir con pasos firmes hacia los objetivos que me he planteado.

A la Escuela Politécnica del Ejército especialmente a la Carrera de Ingeniería Mecánica por acogerme en sus aulas y brindarme una educación de excelencia.

A mi Director y Codirector de tesis por todos sus conocimientos impartidos y todo el apoyo para culminar de la mejor manera este proyecto.

Y por último a las personas que conforman el Centro de Investigaciones Científicas de la ESPE (CEINCI) por la confianza que depositaron en mí para realizar este proyecto.

**Christian Rodríguez S. - CORS**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. GENERALIDADES</b> .....	<b>19</b>
1.1. ANTECEDENTES.....	19
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	20
1.3. OBJETIVOS.....	21
1.3.1. GENERAL .....	21
1.3.2. ESPECIFICOS.....	21
1.4. ALCANCE DEL PROYECTO.....	21
1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	22
<b>2. GENERACIÓN DE BASURA</b> .....	<b>25</b>
2.1. GENERACIÓN DE DESECHOS – BASURA .....	25
2.1.1. FLUJO DE MATERIALES Y PRODUCCIÓN DE DESECHOS ....	27
2.1.2. EL PROBLEMA DE LA BASURA .....	29
2.1.3. LA SOLUCIÓN AL PROBLEMA .....	29
2.1.3.1. REDUCCIÓN DE RESIDUOS .....	30
2.1.3.2. PLANEACIÓN CORRECTA DE LOS RESIDUOS.....	30
2.1.3.3. CANALIZACIÓN DE RESIDUOS FINALES.....	30
2.1.4. REGLA 3R.....	31
2.2. CLASIFICACIÓN DE LA BASURA .....	32
2.2.1. POR SU COMPOSICIÓN .....	32
2.2.2. DESECHOS DE CLASIFICACIÓN DUDOSA.....	33
2.2.3. POR SU ORIGEN SOCIAL.....	35
2.3. PROCESOS DE SEPARACIÓN .....	36
2.3.1. SEPARACIÓN DE LA BASURA ORGANICA. ....	37
2.3.2. SEPARACIÓN DE LA BASURA INORGANICA.....	37
2.4. RELLENOS SANITARIOS .....	39
2.4.1. VENTAJAS DE UN RELLENO SANITARIO .....	41
2.4.2. BENEFICIOS DE UN RELLENO SANITARIO .....	41
2.4.3. RELLENOS SANITARIOS EN LA CIUDAD DE QUITO.....	42
2.4.3.1. BOTADERO DE ZÁMBIZA.....	42
2.4.3.2. RELLENO SANITARIO “EL INGA” .....	44
<b>3. BIODEGRADACIÓN DE LA BASURA</b> .....	<b>51</b>

3.1.	BASURA ORGÁNICA A UTILIZARSE .....	51
3.1.1.	DATOS DE BASURA PARA QUITO.....	52
3.1.1.1.	DATOS DE QUITO LIMPIO.....	53
3.1.1.2.	DATOS DE EMASEO .....	54
3.2.	PROCESOS DE BIODEGRADACIÓN.....	55
3.2.1.	BIODIGESTION ANAERÓBICA .....	56
3.3.	GASES Y PRODUCTOS SÓLIDOS GENERADOS.....	59
3.3.1.	BIOABONO .....	59
3.3.2.	BIOGAS.....	60
<b>4.</b>	<b>LIMPIEZA DEL BIOGAS .....</b>	<b>63</b>
4.1.	SEPARACIÓN DE CO <sub>2</sub> Y OTROS GASES .....	63
4.1.1.	CARBON ACTIVADO A UTILIZAR.....	64
4.1.1.1.	CARACTERISTICAS DEL CARBON ACTIVADO “ECO K-70”. .....	65
4.1.1.2.	APLICACIONES DEL CARBON ACTIVADO.....	66
4.1.2.	DISEÑO DEL FILTRO .....	67
4.1.2.1.	CALCULO DEL CUERPO DEL FILTRO DE SEPARACIÓN DE CO <sub>2</sub> .....	68
4.1.2.2.	SELECCIÓN DE LAS TAPAS DEL FILTRO DE SEPARACIÓN DE CO <sub>2</sub> .....	69
4.1.2.3.	SELECCIÓN DE LA MALLA METÁLICA .....	70
4.2.	CANTIDAD DE CH <sub>4</sub> .....	71
4.3.	DISPOSICIÓN FINAL DEL ADSORBENTE.....	73
<b>5.</b>	<b>REDISEÑO DEL PROTOTIPO .....</b>	<b>75</b>
5.1.	REDISEÑO Y CAMBIO DE PARTES Y MATERIALES .....	75
5.1.1.	DISEÑO DE TANQUES.....	75
5.1.1.1.	TANQUE DE BIODEGRADACIÓN (Biodigestor).....	75
5.1.1.2.	TANQUE PARA ACUMULACIÓN DE BIOGAS.....	80
5.1.2.	SISTEMA DE COMPRESIÓN DEL GAS .....	83
5.1.3.	MEDIDOR DE CAUDAL .....	85
5.1.4.	PARTES ORIGINALES DEL PROTOTIPO. ....	87
5.1.4.1.	MOTOR GSM 61/2000.....	87
5.1.4.2.	DIFUSOR DE GAS.....	88
5.1.4.3.	ELECTROVÁLVULAS.....	89

5.1.4.4.	DOSIFICADOR DE ACEITE.....	89
5.1.4.5.	ACCESORIOS EXTRAS. ....	90
5.2.	REGISTRO DE CARGA .....	90
5.3.	DATOS DE PRESIÓN EN LOS TANQUES .....	92
5.4.	INSTALACIÓN DE LA UNIDAD DE GENERACIÓN ELÉCTRICA. ....	94
5.4.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD DE GENERACIÓN .....	96
5.4.2.	INSTALACIÓN DE LA UNIDAD DE GENERACIÓN.....	97
5.5.	INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE LAS RPM EN LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD.....	99
5.6.	ENERGÍA ELÉCTRICA OBTENIDA. ....	100
5.7.	EXTRAPOLACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA EN LA CIUDAD DE QUITO, USANDO LA BASURA ORGÁNICA A PARTIR DE DATOS DEL PROTOTIPO. ....	101
<b>6.</b>	<b>PRUEBAS DEL PROTOTIPO .....</b>	<b>103</b>
6.1.	DEFINICIÓN DE VARIABLES. ....	103
6.2.	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO. ....	104
6.2.1.	ENERGÍA VS. CAUDAL (SIN DIFUSOR DE GAS). ....	105
6.2.2.	ENERGÍA VS. CAUDAL (CON DIFUSOR DE GAS). ....	110
6.2.3.	ENERGÍA VS. PRESIÓN (CON DIFUSOR DE GAS).....	112
6.2.4.	ENERGÍA VS. VELOCIDAD (CON DIFUSOR DE GAS). ....	113
6.3.	PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO. ....	115
6.3.1.	TRABAJO ÚTIL (TEÓRICO).....	115
6.3.2.	EFICIENCIA DEL SISTEMA.....	116
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO.....</b>	<b>119</b>
7.1.	ANÁLISIS ECONÓMICO .....	119
7.1.1.	ESTUDIO DE MERCADO .....	119
7.1.2.	ESTUDIO TÉCNICO.....	119
7.1.3.	ANÁLISIS DE COSTOS .....	119
7.1.3.1.	COSTOS DIRECTOS.....	120
7.1.3.1.1.	MATERIALES Y EQUIPOS .....	120
7.1.3.1.2.	MANO DE OBRA DIRECTA.....	121
7.1.3.2.	COSTOS INDIRECTOS .....	121
7.1.3.2.1.	MATERIALES E INSUMOS.....	121
7.1.3.2.2.	HONORARIO A PROFESIONALES.....	122

7.1.3.3.	GASTOS ADMINISTRATIVOS E IMPREVISTOS .....	122
7.2.	ANÁLISIS FINANCIERO.....	123
7.2.1.	ANÁLISIS DE RENTABILIDAD.....	123
7.2.2.	PLANTA DE GAS. ....	126
7.2.3.	PLANTA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.....	126
7.2.4.	OTRAS INVERSIONES.....	126
7.2.5.	RENTABILIDAD E ÍNDICES ECONÓMICOS.....	127
7.2.6.	FLUJO DE CAJA .....	130
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>131</b>
8.1.	CONCLUSIONES .....	131
8.2.	RECOMENDACIONES.....	132
8.3.	BIBLIOGRAFIA.....	133
8.4.	ANEXOS.....	134

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Desechos sólidos y basura orgánica.....	26
Figura 2.2	Flujo de materiales y producción de desechos sólidos.....	28
Figura 2.3	Desechos caseros clasificados.....	36
Figura 2.4	Reciclaje de caucho, plástico y metal.....	38
Figura 2.5	Selección y separación mediante bandas.....	39
Figura 2.6	Diseño óptimo de un relleno sanitario.....	40
Figura 2.7	Botadero de Zámbriza.....	43
Figura 2.8	Sitios analizados para ubicación de rellenos sanitarios.....	44
Figura 2.9	Zona de asentamiento del relleno sanitario “El Inga” .....	45
Figura 2.10	Parámetros de construcción R. S. “El Inga” .....	46
Figura 2.11	Parámetros de construcción R. S. “El Inga” .....	46
Figura 2.12	Fase de construcción de tanques y recolección de lixiviados	47
Figura 2.13	Chimeneas de biogás.....	47
Figura 2.14	Recorrido y entrega de los RSU en el Relleno Sanitario.....	48
Figura 2.15	Compactación de capas y colocación de material cobertura..	48
Figura 3.1	Basura orgánica a utilizarse.....	52
Figura 3.2	Proceso de degradación anaeróbica.....	58
Figura 3.3	Desechos (basura) después del proceso de biodegradación (lodos).....	60
Figura 3.4	Posibles aplicaciones del biogás.....	61
Figura 4.1	Carbón Activado granular.....	64
Figura 4.2	Carbón Activado Eco K-70 utilizado en el proyecto.....	67
Figura 4.3	Cuerpo del filtro.....	69
Figura 4.4	Tapas del filtro de 4 plg.....	70
Figura 4.5	Soporte y malla metálica.....	71
Figura 5.1	Tanque biodigestor (cap. 800 L).....	77
Figura 5.2	Bridas de ingreso y desfogue.....	78
Figura 5.3	Tomas NPT de 1/2 plg.....	78
Figura 5.4	Recubrimiento anticorrosivo.....	79
Figura 5.5	Patas de soporte del tanque.....	79
Figura 5.6	Ángulos soldados para transporte.....	79
Figura 5.7	Tanque de acumulación (cap. 200L).....	81

Figura 5.8	Tomas NPT de 1/2 plg.....	82
Figura 5.9	Soporte y pintura anticorrosiva.....	83
Figura 5.10	Compresor 2 HP.....	83
Figura 5.11	Cambio de partes del compresor.....	84
Figura 5.12	Conexión del compresor a los tanques.....	84
Figura 5.13	Presión de 40 psi (tanque de acumulación).....	85
Figura 5.14	Características del caudalímetro.....	85
Figura 5.15	Caudalímetro.....	86
Figura 5.16	Pantalla analógica y boquillas para mangueras.....	86
Figura 5.17	Motor GSM 61/2000 de dos tiempos.....	87
Figura 5.18	Combustible al 15% y tanque de combustible con mang.....	88
Figura 5.19	Difusor de gas.....	88
Figura 5.20	Electro válvulas.....	89
Figura 5.21	Dosificador de aceite.....	89
Figura 5.22	Chispero y batería.....	90
Figura 5.23	Carga de materia orgánica.....	91
Figura 5.24	Desechos orgánicos en el tanque.....	91
Figura 5.25	Monitoreo de presión.....	93
Figura 5.26	Presión 22 psi (día 65).....	94
Figura 5.27	Temperatura 36 °C.....	94
Figura 5.28	Unidad de generación MBM INTERNACIONAL.....	95
Figura 5.29	Unión motor – generador.....	96
Figura 5.30	Acople para manguera de gas.....	97
Figura 5.31	Instalación manguera de gas.....	97
Figura 5.32	Conexión de la manguera de gas en el motor original.....	98
Figura 5.33	Conexión de la manguera de gas en unidad de generación..	98
Figura 5.34	Grafico Energía vs. Velocidad (RPM).....	99
Figura 6.1	Grafico Energía vs. Caudal (sin difusor de gas).....	106
Figura 6.2	Grafico Energía vs. Caudal (con difusor de gas).....	111
Figura 6.3	Grafico Energía vs. Presión (con difusor de gas).....	112
Figura 6.4	Grafico Energía vs. Velocidad (con difusor de gas).....	114
Figura 6.5	Vista conjunto izquierda.....	116

Figura 6.6	Vista de conjunto derecha.....	116
Figura 6.7	Prototipo.....	116

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Producción de desechos sólidos.....	31
Tabla 2.2	Materiales Reciclables.....	53
Tabla 3.1	Recolección del consorcio “Quito Limpio” en la zona sur.....	53
Tabla 3.2	Recolección del consorcio “Quito Limpio” en la zona centro.....	53
Tabla 3.3	Total de recolección del consorcio “Quito Limpio”.....	53
Tabla 3.4	Recolección de la empresa municipal “EMASEO” en la zona norte.....	54
Tabla 3.5	Recolección de la empresa municipal “EMASEO” en la zona parroquias.....	54
Tabla 3.6	Total de recolección de la empresa “EMASEO”.....	54
Tabla 3.7	Composición química del biogás.....	60
Tabla 4.1	Características del carbón activado Eco K-70 malla 12x20...65	
Tabla 4.2	Tamaño de mallas de carbón activado.....	66
Tabla 4.3	Características tubo de 4 plg calibre 40.....	68
Tabla 4.4	Propiedades generales del metano.....	72
Tabla 5.1	Registro de carga.....	90
Tabla 5.2	Datos de presión y temperatura.....	92
Tabla 5.3	Características técnicas del generador.....	96
Tabla 5.4	Resultados De voltaje y amperaje a diferentes velocidades..	99
Tabla 5.6	Energía eléctrica obtenida.....	101
Tabla 6.1	Datos Energía vs. Caudal sin difusor (3 mediciones).....	104
Tabla 6.2	Datos Energía vs. Caudal (3 mediciones).....	104
Tabla 6.3	Datos Energía vs. Caudal (3 mediciones).....	105
Tabla 6.4	Datos Energía vs. Caudal (3 mediciones).....	105
Tabla 6.5	Resultados Energía vs. Caudal (sin difusor de gas).....	106
Tabla 6.6	Caudal del Difusor de gas.....	108
Tabla 6.7	Resultados Energía vs. Caudal.....	110
Tabla 6.8	Resultados Energía vs. Presión.....	112
Tabla 6.9	Resultados Energía vs. Velocidad.....	113
Tabla 6.10	Trabajo Útil Teórico.....	116

Tabla 6.11	Eficiencia del Sistema.....	117
Tabla 7.1	Costos directos.....	120
Tabla 7.2	Remuneración a estudiantes.....	121
Tabla 7.3	Costos Indirectos.....	121
Tabla 7.4	Honorarios a Profesionales.....	122
Tabla 7.5	Costo Total del rediseño.....	122
Tabla 7.6	Planta generadora de gas.....	126
Tabla 7.7	Planta generadora de electricidad.....	126
Tabla 7.8	Otras Inversiones.....	126
Tabla 7.9	Vida Útil.....	127
Tabla 7.10	Calculo de depreciación.....	127
Tabla 7.11	Calculo valor libros.....	128
Tabla 7.12	Calculo de Servicio de la deuda.....	128
Tabla 7.13	Ingresos y costos.....	129
Tabla 7.14	Utilidad fiscal e impuestos.....	129
Tabla 7.15	Flujo de caja.....	130

## NOMENCLATURA

$\rho$	Densidad carbón activado.
$Vol\_f$	Volumen del filtro.
$D$	Diámetro del filtro.
$H$	Altura del filtro entre soportes de mallas.
$H1$	Altura entre soportes y borde del filtro.
$H\_Total$	Altura total del filtro sin tapas.
$r$	Radio del tanque de 800 L. (mm).
$r1$	Radio del tanque de 800 L (plg).
$V1$	Volumen tanque 800 L
$Pop$	Presión de operación.
$E$	Eficiencia
$S$	Esfuerzo
$CA$	Corrosión admisible.
$Pd$	Presión de diseño.
$h1$	Altura tanque 800 L
$t$	Espesor cuerpo tanque 800 L
$t1$	Espesor cabeza tanque 800 L
$t2$	Espesor cuerpo tanque 200 L
$t3$	Espesor cabeza tanque 200 L
$T$	Tiempo de retención
$T1$	Tiempo de retención real
$plg$	Pulgadas
$cm$	Centímetros
$cm^3$	Centímetros cúbicos
$g$	Gramos
$kg$	Kilogramos
$PAC$	Carbón activado en polvo
$GAC$	Carbón activado en grano
$L$	Litros
$mm$	Milímetros

<i>mm</i> <sup>3</sup>	Milímetros cúbicos
<i>psi</i>	lbf/plg <sup>2</sup>
kcal	kilocalorías
kJ	kilojoules
kW	kilowatts

## RESUMEN

El proyecto que se presenta a continuación describe la factibilidad de generación eléctrica usando la materia orgánica que diariamente se genera, para ello se realizó el rediseño de un prototipo existente el cual va a permitir evidenciar la cantidad de energía generada y por medio del biogás obtenido de la descomposición de la materia orgánica demostrar a la gente que es posible darle uso adecuado a la basura.

En el presente estudio primeramente se realizó el rediseño de los tanques de biodegradación y acumulación de biogás en los cuales no existan fugas y nos permita almacenar una buena cantidad de biogás el cual posteriormente será utilizado como combustible.

En segundo lugar se verifico que todas las partes originales del prototipo estén funcionando en perfecto estado, comprobar que función cumplían en el prototipo y para que servían.

Como tercer punto dentro del proyecto fue la instalación de la unidad de generación eléctrica, su funcionamiento calibración y acople al prototipo a su vez la instalación de otros aparatos como caudalímetro, válvulas y acoples para su correcto funcionamiento.

Se diseño un filtro de carbón activado el cual nos permitirá limpiar o purificar el biogás mediante la extracción del  $\text{CO}_2$ , este filtro tiene una capacidad de 2 kg y esta asegurado mediante unas mallas metálicas que tiene en su interior para que el carbón activado no se desplace.

Luego de acoplar y ensamblar todo el prototipo se realizo las pruebas respectivas, estas contaban con 3 pruebas fundamentales en las cuales se quería evidenciar la variación de energía eléctrica mediante el cambio de caudal, presión y velocidad.

Con los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al prototipo se quería evidenciar la cantidad de energía eléctrica que nos generaría toda la basura de la ciudad de Quito utilizando las 1297 toneladas generadas diariamente de basura que contienen un considerable porcentaje de desechos orgánicos aprovechables.

Las energías renovables, presentan, buenas posibilidades de solucionar problemas de generación eléctrica, aprovechando los recursos existentes y usando tecnologías adecuadas. Este es el caso del Ecuador, actualmente deficitario en electricidad, país que puede aprovechar los desechos urbanos (basura) para producir gas combustible (metano) y generar electricidad, mediante su combustión en una turbina de gas.

La biodegradación de la basura orgánica aprovechable, mediante un proceso de fermentación, genera biogás como materia prima para la generación eléctrica.

Se realizó el respectivo estudio económico y financiero dándonos como resultado el TIR =16% el cual nos da como conclusión que el proyecto es factible de realizarlo pero eso si con una gran inversión y un gran esfuerzo.

# CAPITULO I

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. ANTECEDENTES

En el país actualmente no existe un proyecto para la utilización de la basura como una fuente de energía alternativa por lo que las autoridades seccionales han decidido ubicar la basura en los rellenos sanitarios, países como Brasil, Suecia por su poder económico y tecnología han reemplazado los rellenos sanitarios con procesos de incineración.

Estudios realizados por el Sr. Andrés Tobar y el Cptan. Wilfrido Suárez, mediante el proyecto de grado denominado “Modelamiento de los procesos de biodegradación energética para aprovechamiento de basura como generador de energía eléctrica: validación mediante un prototipo”, describen la factibilidad de generación eléctrica para la ciudad de Quito utilizando las 1300 toneladas generadas diariamente de basura que contienen un considerable porcentaje de desechos orgánicos aprovechables. El proyecto de llegar a implantarse generaría 30 MW de electricidad que podría suplir una fracción de la demanda de la capital.

Dicho proyecto de grado presenta un estudio del modelamiento biológico que permite simular el proceso de biodegradación en función del tiempo, posteriormente, el modelamiento energético (turbinas ciclo Brayton), permite determinar la potencia eléctrica de la planta en su conjunto, con lo que se confirma la posibilidad de generación eléctrica a partir de la basura orgánica.

La construcción del prototipo proporciona la idea preliminar de la capacidad de generación eléctrica, las características principales del prototipo son: un motor de dos tiempos GMS 61/2000 de 0.61 c.c., un difusor de gas, electro válvulas, un dosificador de aceite, una batería para el sistema eléctrico y un denominado “chispero” que mantiene a la bujía cargada para el encendido

inicial del motor; teniendo en cuenta las recomendaciones y conclusiones que se obtuvieron del prototipo, al finalizar el presente proyecto se tratará de cuantificar con mayor exactitud la capacidad de generación.

## **1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Una de las dificultades que presentan las grandes ciudades y como tal el Distrito Metropolitano de Quito es la generación de grandes cantidades de basura, una de las soluciones ha sido la disposición final de la basura en rellenos sanitarios, sin embargo, los rellenos sanitarios no son bien vistos por la comunidad que viven en los alrededores, ya que la basura a más del mal olor que emite trae enfermedades, plagas, animales y contamina el medio ambiente, factores con los cuales la gente no quiere vivir cerca de estos. De manera que el uso de la basura para generar electricidad seria una solución mas aceptada por la población.

Actualmente la ciudad de Quito produce 1300 toneladas aproximadamente de basura diarias de las cuales un porcentaje considerable de ésta son desechos orgánicos, los cuales se los puede aprovechar para generar energía. Para ello se mejorará el prototipo existente, el cual fue desarrollado por los Sres. Andrés Tobar y Cptn. Wilfrido Suárez, mediante el proyecto de grado denominado “Modelamiento de los procesos de biodegradación energética para aprovechamiento de basura como generador de energía eléctrica: validación mediante un prototipo”.

A este prototipo se le va a cambiar algunas partes y materiales, los cuales no cumplen con la función para los que fueron diseñados y se acoplarán a éste otros componentes para cumplir con el objetivo que se persigue, estos cambios nos ayudarán primero para reducir las pérdidas de biogás que se tiene, segundo para mejorar la calidad de gas que se obtiene y tercero para generar electricidad.

Este proyecto a más de realizar algunos cambios en el prototipo también servirá para optimizar la biodegradación de la basura orgánica y experimentar la separación del CO<sub>2</sub> del biogás a fin de obtener metano más puro, gas que va hacer el fluido de trabajo para la generación de electricidad.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. GENERAL**

Rediseñar el prototipo para generar electricidad usando materia orgánica (basura).

#### **1.3.2. ESPECIFICOS**

- Estudiar los antecedentes del proyecto “Modelamiento de los procesos de biodegradación energética para aprovechamiento de basura como generador de energía eléctrica: validación mediante un prototipo”.
- Analizar la biodegradación de la basura y la producción de biogás.
- Mejorar la calidad del biogás, analizando su composición y separando el contenido de CO<sub>2</sub>.
- Rediseñar el prototipo; cambiando algunos de sus partes y materiales.
- Instalar la unidad de generación eléctrica.
- Realizar pruebas del prototipo.

### **1.4. ALCANCE DEL PROYECTO**

En el desarrollo del proyecto se considerarán dos aspectos fundamentales:

1. Rediseño del prototipo.
2. Generación de electricidad.

El Rediseño del prototipo comienza con la revisión de los resultados, conclusiones y recomendaciones que generó el estudio del proyecto de grado “Modelamiento de los procesos de biodegradación energética para aprovechamiento de basura como generador de energía eléctrica: validación mediante un prototipo”.

Con esta información se procederá a:

- La mejora del prototipo, básicamente en reducir las pérdidas de presión existentes en los tanques de almacenamiento de la materia orgánica, para ello se buscará la manera de cambiar los tanques a otros más herméticos y de otro material siempre y cuando brinden la facilidad de carga y descarga de la materia orgánica y la extracción del gas para su posterior uso.
- La remoción del CO<sub>2</sub> del biogás usando filtro de carbón activado.
- Análisis económico y financiero (perfil) del proyecto.

Finalmente se procederá al acoplamiento del generador al motor de 2 tiempos o a su vez se acoplara al prototipo el conjunto completo del generador eléctrico que viene de fábrica (motor-generador), que permitirá la lectura directa de la cantidad de energía generada.

Lo importante de este proyecto es demostrar que es posible generar electricidad usando la materia orgánica existente en la basura domestica.

Otro aspecto importante una vez cumplidos los objetivos del proyecto es la protección ecológica ya que se reduciría la contaminación ambiental.

## **1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Tomando en cuenta que la basura del Distrito Metropolitano de Quito no genera ninguna utilidad al país y que el consumo de electricidad es cada vez mas alto y que las centrales hidroeléctricas y termoeléctricas en la actualidad ya no se abastecen; este proyecto propone usar la basura orgánica para generar electricidad.

Aunque el proyecto es a nivel de prototipo, el análisis detallado de sus resultados podría servir para propiciar un estudio a mayor escala sobre la posibilidad de generar electricidad usando la basura orgánica del Distrito Metropolitano de Quito.



## CAPÍTULO II

### 2. GENERACIÓN DE BASURA

#### 2.1. GENERACIÓN DE DESECHOS – BASURA

En el lenguaje popular se engloba el término de basura a todos los residuos, desechos y desperdicios sólidos y semisólidos sin distinción de origen, los cuales la población necesita deshacerse diariamente por no resultarle útil, pudiendo, en cambio, ocasionarle molestias (malos olores, insectos, enfermedades, entre otros).

Según la Asociación Internacional de Residuos Sólidos se dan las siguientes definiciones:

- **Residuos sólidos.** Son todos los residuos producidos por las actividades humanas y animales, normalmente son sólidos y son desechados por ser indeseados e inútiles (Fig. 2.1.). El término de residuo sólido como es usado incluye todo, abarcando desde los grandes volúmenes de basuras heterogéneas producidas en las zonas urbanas hasta las acumulaciones más homogéneas de residuos agrícolas, industriales y minerales.
- **Basura.** Son todos los residuos sólidos y semisólidos putrescibles y no putrescibles, incluyendo los desperdicios, desechos y cenizas, excluyendo las excretas humanas. (Fig. 2.1.)
- **Desperdicios.** Son los residuos sólidos y semisólidos de origen vegetal o animal, sujetos a putrefacción. Provenientes principalmente del manejo y consumo de alimentos.
- **Desechos.** Son los materiales de carácter no putrescible, exceptuando las cenizas. Se dividen en dos categorías: los combustibles (papeles, cartones,

hojas secas, madera, troncos) y los no combustibles (rocas, arena, piedra, escombros de construcción, metales, vidrios).

- **Cenizas.** Es el producto final de la combustión de algunas sustancias utilizadas para producir energía.



*Figura 2.1. Desechos sólidos y basura orgánica*

En los primeros tiempos del hombre el único problema que podían originar los residuos era su acumulación, puesto que su existencia no constituía un peligro ya que todos eran biodegradables. Los problemas surgieron, con la disposición de desechos sólidos, cuando los seres humanos empezaron a congregarse en tribus, poblaciones y comunidades y la acumulación de desechos se convirtió en una consecuencia de la vida. La dispersión de alimentos y otros desechos sólidos en ciudades medievales, la práctica de botar desechos en calles sin pavimentar, carreteras y terrenos desocupados condujo a procreación de ratas, con su compañía de pulgas acarreando gérmenes de enfermedades, y la erupción epidémica de la peste<sup>1</sup>.

Pero a medida que las ciudades se extendían, los basurales iban quedando dentro del territorio ocupado por la ciudad, generando problemas en la salud de los habitantes y del medio ambiente. Algunas poblaciones recurrieron a la técnica de arrojar la basura al mar, pero este sistema también tuvo su tope.

---

<sup>1</sup> <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Residuo&redirect=no>

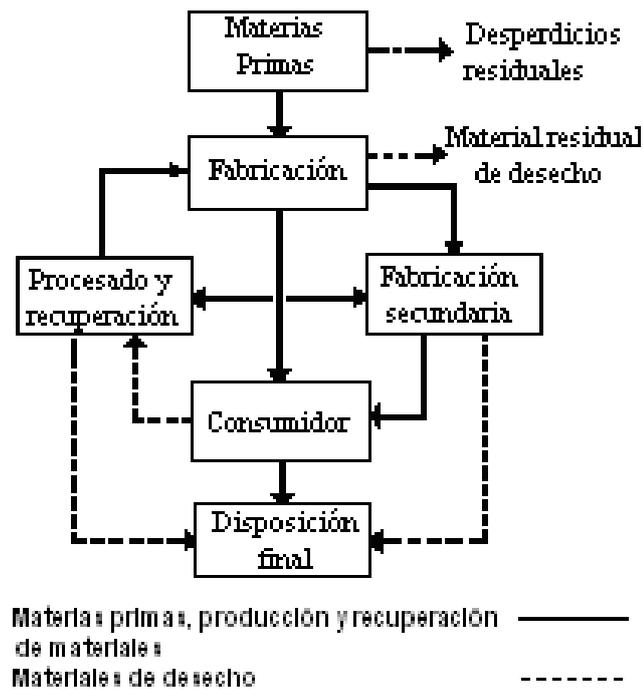
Los impactos ecológicos, tales como contaminación del agua y el aire, también han sido atribuidos a manejo impropio de los desechos sólidos. Por ejemplo, líquido de botaderos y rellenos pobremente diseñados y operados han contaminado aguas superficiales y subterráneas. En áreas mineras el líquido lixiviado de los botaderos de desechos puede contener elementos tóxicos, tales como cobre, arsénico y uranio, o pueden contaminar abastecimientos de agua con sales indeseadas de calcio y magnesio. Mientras la capacidad de la naturaleza para diluir, dispersar, degradar, absorber o disponer de otra manera de sus residuos indeseados en la atmósfera, en los cursos de agua y sobre el suelo es bien conocida, los seres humanos no pueden exceder esta capacidad natural para la disposición de sus desechos indeseables o se impondrá un desequilibrio ecológico sobre la biosfera.

### **2.1.1.FLUJO DE MATERIALES Y PRODUCCIÓN DE DESECHOS<sup>2</sup>**

Una indicación de cómo y cuándo se producen desechos sólidos en nuestra sociedad tecnológica se muestra en un flujo simplificado de materiales del diagrama presentado en la Figura 2.2. Los desechos sólidos (desperdicios) se producen al iniciar el proceso, empezando con la extracción de materias primas. De allí en adelante, se producen desechos sólidos en cada etapa del procesado a medida que las materias primas son transformadas en productos para el consumo.

---

<sup>2</sup> TCHOBANOUGLOUS G., THIESSEN H., ELIASSEN R., Desechos Sólidos principios de ingeniería y administración, Traducido por Armando Cubillos, Merida-Venezuela 1982



**Figura 2.2. Flujo de materiales y producción de desechos sólidos en una sociedad tecnológica.**

De la Figura 2.2., se desprende que una de las mejores maneras de reducir la cantidad de desechos sólidos a ser dispuestos es limitar el consumo de materias primas y aumentar la tasa de recuperación y reuso de materiales de desecho. Aunque el concepto es simple, se ha encontrado extremadamente difícil efectuar este cambio en una sociedad tecnológica.

**Tabla 2.1. Producción de desechos sólidos<sup>3</sup>**

Subproductos	Composición Porcentual	Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>c</sup>	Humedad (%) <sup>c</sup>
Materia Orgánica	60.5 %	400	70
Papel	7.0 %	90	6
Cartón	2.8 %	50	5
Metales	2.5 %	320	3
Plásticos Alta Densidad	2.2 %	130	2
Plásticos Baja Densidad	3.7 %	65	2
Vidrio Transparente	1.6 %	195	2
Vidrio de Color	0.7 %	195	2
Telas y Cueros	2.2 %	160	10
Otros	7.1 %	480	8
Inertes	9.7 %	745	6

<sup>3</sup> Dirección de Planificación / EMASEO 1998 (C Tchobanoglous, Thiessen & Vigil 1993)

La tabla 2.1., indica la cantidad de desechos sólidos generados por la ciudad de Quito, según indica la dirección de Planificación de EMASEO

### **2.1.2.EL PROBLEMA DE LA BASURA**

La basura constituye un problema para muchas sociedades, sobre todo para las grandes ciudades así como para el conjunto de la población del planeta. Debido a que la sobrepoblación, las actividades humanas modernas y el consumismo han acrecentado mucho la cantidad de basura que generamos; lo anterior junto con el ineficiente manejo que se hace de la basura provoca problemas tales como la contaminación, que resume problemas de salud y daño al medio ambiente; además de provocar conflictos sociales y políticos. La basura es quemada o llevada a botaderos, lo que constituye de una u otra forma un conjunto de problemas de diversa índole.

Antes de convertirse en basura, los residuos han sido materias primas que en su proceso de extracción, son por lo general, procedentes de países en desarrollo. En la producción y consumo, se ha empleado energía y agua. Y sólo 7 países, que son únicamente el 20% de la población mundial, consumen más del 50% de los recursos naturales y energéticos de nuestro planeta. La sobreexplotación de los recursos naturales y el incremento de la contaminación, amenazan la capacidad regenerativa de los sistemas naturales.

### **2.1.3.LA SOLUCIÓN AL PROBLEMA**

Lo ideal es que la basura -como tal- no debe existir; la naturaleza enseña que todo lo producido y creado es reintegrado al medio y con la basura debe buscarse lo mismo, es decir, que todo sea reciclado de una u otra forma. Lo anterior señala una solución integral en la que el concepto basura desaparecería. Varias iniciativas existen para reducir o resolver el problema, dependen principalmente de los gobiernos, las industrias, las personas o de la sociedad en su conjunto. Dos soluciones generales al problema de la basura son:

- Reducir la cantidad de residuos generada.
- Reintegración de los residuos al ciclo productivo.
- Canalización adecuada de residuos finales.

### **2.1.3.1. REDUCCIÓN DE RESIDUOS**

Las medidas de reducción de residuos pueden agruparse en:

- Disminuir la cantidad de desechos potenciales en los productos.
- Orientar la fabricación de productos a la reutilización y al reciclaje, tanto de sus empaques como de los materiales que los componen.
- Reutilizar y reciclar en todos los niveles del ciclo de producción y consumo.

### **2.1.3.2. PLANEACIÓN CORRECTA DE LOS RESIDUOS**

- Se clasifican eficientemente todos los desechos.
- Se evita al máximo el derroche de materias primas.
- En lugar de un sistema de producción, consumo y eliminación, se tiene un proceso cíclico de producción, donde la mayor parte de los residuos de la producción así como del consumo sean reintegrados al ciclo productivo de la misma forma que la naturaleza lo hace.

### **2.1.3.3. CANALIZACIÓN DE RESIDUOS FINALES**

- Todos aquellos residuos que no son reintegrados al ciclo productivo deben ser adecuadamente canalizados, en especial los desechos peligrosos.
- Evita sistemas de eliminación que supongan un riesgo para el ambiente y la salud.

## 2.1.4. REGLA 3R<sup>4</sup>

La estrategia de las 3 R, se ha popularizado y consiste en tres medidas generales básicas que contribuyen a solucionar el problema de la basura. Estas acciones básicas orientadas a la población en general pero igualmente aplicables a toda la sociedad son: Reducción, Reutilización y Reciclaje.

- **Reducción:** consiste en limitar la producción de residuos utilizando técnicas limpias y racionales, mediante las que se originen residuos en cantidades mínimas. Además se persigue una disminución en volumen para hacer más fácil su transporte tratamiento y almacenamiento o eliminación.
- **Reutilización:** numerosos materiales pueden ser recuperados y utilizados varias veces antes de hacerse inservibles. La reutilización promueve el ahorro económico y ecológico, tanto de materias primas como de energías.
- **Reciclaje:** muchos materiales que ya no sirven para el uso para el que fueron fabricados, pueden ser recuperados en su totalidad o parte de ellos, y utilizarlos para fabricar otros del mismo o distinto tipo. Los principales materiales que pueden ser recuperados y reciclados son el papel y cartón, el vidrio y los metales. (Tabla 2.1.)

*Tabla 2.2. Materiales reciclables*

ORIGEN	MATERIAL	MATERIAL RECICLADO
Árboles	Papel y cartón	Papel y cartón reciclados
Árboles	Madera	Pasta de papel. Aserrín. Combustible
Animales, vegetales, petróleo	Fibras textiles	Fibras recicladas. Materiales energéticos
Organismos	Materia orgánica	Compost.
Arena	Vidrio	Vidrio reciclado
Minerales	Metales	Metales reciclados
Petróleo	Plásticos	Plástico reciclado. Materiales energéticos

<sup>4</sup> COSTA F., GARCIA C., Residuos organicos urbanos. Manejo y utilización, CSIC adiciones

## 2.2. CLASIFICACIÓN DE LA BASURA

La basura como todas las cosas tiene su clasificación:

- Por su composición.
- Desechos de clasificación dudosa
- Por su origen social.

### 2.2.1. POR SU COMPOSICIÓN<sup>5</sup>

- **Basura orgánica.** Es todo desecho de origen biológico, alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo, por ejemplo: hojas, ramas, cáscaras y semillas de frutas, huesos y sobras de animales. Los residuos de los alimentos constituyen el 33% de la basura que se produce, cuando no están mezclados con otros residuos, se pueden transformar en abonos de gran utilidad para la agricultura.
- **Basura inorgánica.** Es todo desecho de origen no biológico, es decir, de origen industrial o algún otro proceso no natural, por ejemplo: plástico, telas sintéticas.
- **Desechos peligrosos.** Es todo desecho, ya sea de origen biológico o no, que constituye un peligro potencial y por lo cual debe ser tratado como tal, por ejemplo: A) Hospitalarios: a los residuos producidos por esta actividad se la incinera en hornos catalíticos ya que son muy peligrosos porque incluyen materiales de uso médico que puede estar infectados, y residuos de cirugía. B) Nucleares: esta actividad trae un problema de difícil solución que es el destino final de los materiales radioactivos. Todavía no se ha encontrado una solución que no comprometa la salud de la población actual y principalmente de las generaciones futuras. C) Industriales: hay procesos de industriales que arrojan residuos de alta toxicidad. Estos son tratados por plantas especiales para residuos tóxicos, con normas de seguridad muy estrictas y deben ubicarse fuera de zonas urbanas.

---

<sup>5</sup> LEVENE R., "Ecología y medio ambiente", Secretaria de política ambiental, Biblioteca Instituto Winter Garden

## 2.2.2. DESECHOS DE CLASIFICACIÓN DUDOSA<sup>6</sup>

- **El papel y el cartón** son de origen orgánico, sin embargo, para propósitos de reciclaje deben ser tratados como inorgánicos por el proceso particular que se les da. La excepción son los papeles y servilletas con residuos de comida que se consideran como material orgánico.

Son innumerables los objetos de consumo cotidiano envueltos en papel o cartón, por lo que estos materiales representan el 24,10% del peso y un tercio del volumen de nuestra bolsa de basura. Aunque se reciclan en buena parte y fácilmente, la demanda creciente de papel y cartón obliga a fabricar más pasta de celulosa, lo que provoca la tala indiscriminada de millones de árboles. De todas formas no todo el papel puede ser reciclado: el plastificado, adhesivo, encerado o el de fax no son aptos para su posterior reciclaje.

- **Plásticos.** El 13.75 % del contenido de una bolsa de basura se compone de plásticos. Son en su mayoría envases de un solo uso y todo tipo de envoltorios y embalajes (botellas de PVC o PET, bolsas de polietileno, bandejas). Si se entierran ocupan mucho espacio y requieren décadas y hasta milenios para degradarse. Si se opta por incinerarlos, originan emisiones de CO<sub>2</sub>, sustancia que contribuye al cambio climático, además de otros contaminantes atmosféricos muy peligrosos para la salud y el medio ambiente. El PVC es uno de los plásticos de uso más generalizado. Puede producir una elevada contaminación en su fabricación, y si tras su uso se incinera, genera sustancias tóxicas como dioxinas y furanos. Hay que recordar que los plásticos se fabrican a partir del petróleo. Por ello, al consumir plásticos, además de colaborar al agotamiento de un recurso no renovable, se potencia la enorme contaminación que origina la obtención y transporte del petróleo y su transformación en plástico.
- **Latas.** La producción de latas es muy contaminante y solo una pequeña parte se recicla. Casi siempre cuestan más que la bebida que contienen. El

---

<sup>6</sup>[http://www.buenosaires.gov.ar/areas/med\\_ambiente/higiene\\_urbana/separacion\\_residuos\\_conoce.php?menu\\_id=1064](http://www.buenosaires.gov.ar/areas/med_ambiente/higiene_urbana/separacion_residuos_conoce.php?menu_id=1064)

aluminio se elabora a partir de la bauxita, un recurso no renovable que se extrae principalmente de la selva amazónica.

- **Vidrios.** Su dureza y estabilidad favorece la conservación de líquidos o sólidos. la vajilla del hogar. No necesita aditivos, por lo que no altera las sustancias que envasa, es resistente a la corrosión y a la oxidación, muy impermeable a los gases. El problema de este material radica en que se han generalizado los envases de vidrio no retornables, a pesar de que los recipientes de vidrio se podrían utilizar hasta 40 ó 50 veces, si antes no se rompen. Los envases de vidrio se pueden reciclar al 100%.
- **Pilas.** Presentan un elevado potencial contaminante, debido sobre todo al mercurio y otros metales pesados que contienen (especialmente la mayoría de las pilas-botón). Una sola de estas pilas puede contaminar hasta 600.000 litros de agua. Las pilas convencionales, si bien no son tan dañinas, tampoco resultan inocuas para el medio ambiente.
- **Bricks.** Envases normalmente rectangulares, fabricados con finas capas de celulosa, aluminio y plástico (polietileno). Se utilizan para envasar jugos, vinos, salsas, productos lácteos y otros líquidos, ya que conservan bien los alimentos. Su peso y forma facilitan el almacenaje y transporte. Para elaborarlos se requieren materias primas no renovables y consumidoras de energía: el aluminio y el petróleo. Por la dificultad de separar el plástico y el aluminio no se pueden reciclar para producir unos nuevos.
- En sentido estricto, los residuos fisiológicos, como los excrementos humanos también son orgánicos, pero en el mundo industrializado reciben un tratamiento muy distinto al resto, siendo evacuados mediante las redes de saneamiento.

### 2.2.3. POR SU ORIGEN SOCIAL

- **Basura doméstica.** son los que producen los habitantes de las ciudades. Nuestra actual sociedad de consumo fomenta la compra continua de cosas nuevas y el desechado de las "viejas". Así, existen todo tipo de artículos desechables, desde cámaras fotográficas a máquinas de afeitar o vajilla y menaje de plástico. Se estima que cada habitante produce un promedio de 1 kg. de basura por día.

A diario consumimos y tiramos a la basura gran cantidad de productos de corta duración. Estos objetos al menos tienen una utilidad, se estima que entre el 30 y el 40% de la basura está formada por envoltorios que en la mayoría de los casos son inútiles, encarecen el producto y son nocivos para el medio ambiente.

La basura, si es generada a un ritmo mayor que el que necesitan para descomponerse inevitablemente comenzarán a acumularse; contaminando sin dudas el suelo, el aire y el agua.

Estos elementos una vez recolectados presentan un grave problema, encontrar una forma para su disposición final.

Para ello pueden utilizarse: la incineración, el relleno sanitario, y el reciclaje de algunos elementos, previamente seleccionados.

- **Basura urbana.** Es la correspondiente a las poblaciones, como desechos de parques y jardines, inmobiliario urbano inservible.
- **Basura industrial (No Peligrosa).** Es la generada por las industrias como resultado de sus particulares procesos de producción, requieren especial atención ya que su acumulación de los desechos en cursos de agua casi siempre resulta perjudicial.



Figura 2.3. Desechos caseros clasificados. 1) envases de vidrio, 2) plástico fino, 3) plástico grueso, 4) cartón, 5) varios, 6) latas compactadas, 7) papel, 8) poliestireno, 9) pedacería de vidrio, 10) pilas, 11) metales diversos, 12) orgánicos, 13) bricks, 14) telas, 15) sanitarios.

### 2.3. PROCESOS DE SEPARACIÓN

Para una exitosa conversión de desechos a energía es necesaria la recuperación de basura orgánica de empresas, almacenes, casas. En especial desechos fácilmente biodegradables y lodos orgánicos, que también pueden ser biodegradados aunque estos últimos necesitan tratamientos especiales. Los lodos generalmente son utilizados para acelerar el proceso de biodegradación.

Estos procesos de separación tienen como objetivo disminuir la cantidad de basura que producimos y sacarle provecho. Mediante las siguientes medidas podemos contribuir a la conservación de nuestro medio ambiente y, de esta manera, aumentar la calidad de vida.

### **2.3.1. SEPARACIÓN DE LA BASURA ORGANICA.<sup>7</sup>**

Basura orgánica es todo desperdicio alimenticio, como cáscaras y recortes de frutas y verduras, desperdicio de café, cáscaras de huevo, restos de alimentos (con excepción de carne) y desechos de jardín como pasto y hojas.

La basura orgánica se almacena en un bote colocado en algún lugar de fácil acceso dentro de la cocina. El contenido de este bote junto con los desperdicios del jardín será aprovechado para compostaje. El compostaje o humus es el mejor abono natural y el más barato.

### **2.3.2. SEPARACIÓN DE LA BASURA INORGANICA.<sup>8</sup>**

En un lugar de la casa se colocan cajas de cartón o bolsas de plástico grandes. Se usarán para ir depositando separadamente: a) Papel y cartón: (hojas, periódico, revistas, cajas de cartón), acomodarlo plano y desdoblado. b) Vidrio: (botellas, frascos). Enjuagado y seco; no es recomendable romperlo. c) Plástico: (bolsas, envolturas, envases), limpio y seco y si queremos ahorrar espacio, cortamos los envases de plástico rígido por la mitad y colocamos unos dentro de otros. d) Metal: (latas, tapaderas, corcholatas), a las latas podemos quitarles el fondo, aplanarlas y así ocupar menos espacio. e) Varios: zapatos, madera, hule, trapos, pilas, aerosoles, caucho, y por ultimo f) Control Sanitario: algodón, toallas sanitarias, gasas, pañales desechables, se da en una proporción muy pequeña y no es reciclable, por lo que se entrega al camión recolector. (Fig. 2.4.)

En los hospitales la basura será separada de la siguiente manera a) en fundas plásticas de color negro todos los desechos orgánicos e inorgánicos no infecciosos y b) Los desechos infecciosos y especiales serán colocados en funda plástica de color rojo. Algunos serán sometidos a tratamiento en el mismo lugar de origen. Deberán ser manejados con guantes y equipo de protección.

---

<sup>7</sup> <http://infomorelos.com/ecologia/composta.html>

<sup>8</sup> <http://infomorelos.com/ecologia/composta.html>



**Figura 2.4. Reciclaje de caucho, plástico y metal (latas)**

Si separamos así los desperdicios, no estaremos produciendo basura, sino materiales agradables, limpios y sobre todo útiles, ya que pueden ser reciclados. Además, con estos sencillos pasos dejamos de ser productores de basura y contribuimos a:

- Disminuir considerablemente el volumen de basura.
- Evitar tirar basura que tardará meses y años en descomponerse, contaminando el planeta.
- Evitar la contaminación y focos de infección.
- Facilitar el acarreo de basura, la cual se estima se queda en un 20% en el camino al tiradero, y el personal de recolección de basura podrá así realizar su trabajo más dignamente.
- Lograr menor producción de productos contaminantes al aumentar el reciclaje, ahorrando al mismo tiempo recursos naturales NO renovables.
- Evitar utilizar fertilizantes químicos en forma desmedida y ahorrar en fertilizantes.
- Embellecer nuestros jardines, campos, bosques

Los sistemas de tratamiento y reciclaje difieren unos de otros. La selección es muy importante para determinar el tipo de compost ha obtener, el sistema de selección a utilizarse en plantas de este tipo es por bandas (Figura 2.5).



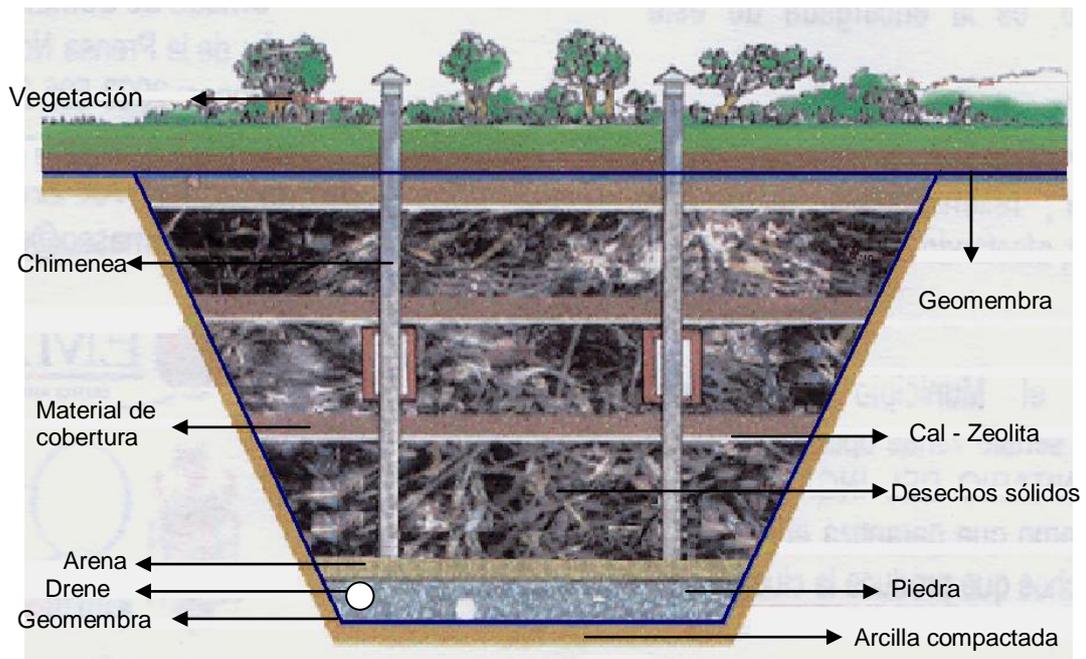
**Figura 2.5. Selección, separación mediante bandas.**

## **2.4. RELLENOS SANITARIOS**

El Relleno sanitario moderno no es un botadero a campo abierto sino es una técnica de eliminación final de desechos sólidos en el suelo, que bien realizado no causa molestia ni peligro para la salud pública; tampoco perjudica el medio ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo

En muchas ciudades esto involucra a las comisiones de planificación de la ciudad, condado, u otra autoridad de planificación regional. Se exigen declaraciones de impacto ambiental para todos los nuevos sitios de relleno con el fin de asegurar el cumplimiento de las normas de salud pública, estética, y usos futuros de la tierra.

Se deben seguir principios de ingeniería para confinar los desechos al área más pequeña posible, reducirlos al mínimo volumen práctico mediante compactación en el sitio, y cubrirlos después de cada día de operación para reducir la exposición a las plagas. Después de que toda el área es llenada, se debe colocar una cubierta de tierra de 60 centímetros mínimo de espesor, y agregar más tierra (si se producen asentamientos diferenciales durante la descomposición de la materia orgánica subyacente). (Fig. 2.6.)



**Figura 2.6. Diseño óptimo de un relleno sanitario.**

La descomposición que se realiza al interior del relleno es anaerobia y en consecuencia tiene una tasa de reacción muy lenta. Uno de los peligros de la biodegradación es la producción de gas metano. Aunque se forma a una velocidad lenta, se puede acumular debajo de edificaciones y en consecuencia se debe ventilar a la atmósfera. En ciudades con rellenos sanitarios grandes se están haciendo intentos para recoger el metano y producir energía.

Uno de los conceptos más importantes es planificar el uso final de la tierra reclamada. Parques, almacenamientos al aire libre y campos de atletismo ocupan sitio de muchos rellenos sanitarios antiguos. Estos deben ser planificados de manera que no se localicen edificaciones sobre los desechos sólidos en descomposición. La planificación se debe hacer antes del llenado de manera que, las áreas para construcciones sean llenadas únicamente con tierra.

## **2.4.1. VENTAJAS DE UN RELLENO SANITARIO<sup>9</sup>**

- Es la infraestructura apropiada para la disposición de los residuos sólidos.
- Es un método completo y definitivo.
- Se puede construir cerca de áreas urbanas.
- Se pueden utilizar terrenos improductivos.
- Entra en operación en poco tiempo.

## **2.4.2. BENEFICIOS DE UN RELLENO SANITARIO**

### **Ambiental**

- Es un procedimiento de ingeniería, cuya práctica cumple la normativa vigente y cuida la preservación del medio ambiente.
- Evita focos de infección al cubrir diariamente los residuos.
- Desaparece la quema incontrolada de residuos.
- Presenta una disposición ordenada y adecuada de los residuos.
- Controla los lixiviados y biogás de este proceso.
- Al término de su vida útil se transforman en áreas verdes.

### **Social**

- Incide en una mejor calidad de vida y salud pública.
- Dignifica al trabajador de los residuos.
- Colabora a crear una cultura de aseo público.
- Es una tecnología que se puede implementar a muy corto tiempo, sin complicaciones, siendo el proceso más económico de disposición final, en comparación con otros.

---

<sup>9</sup> ORTIZ C. Gonzalo La Transformación en el manejo de los RSU de Quito, Seminario PUCE-EMASEO

## **2.4.3. RELLENOS SANITARIOS EN LA CIUDAD DE QUITO**

### **2.4.3.1. BOTADERO DE ZÁMBIZA<sup>10</sup>**

Los desechos del Distrito Metropolitano de Quito “DMQ” se depositaban en el botadero de Zámbez, sin ningún tratamiento, salvo algunas paletadas de cal para aplacar los malos olores, de vez en cuando. En el botadero se encontraban los minadores de la basura (cerca de 400 personas), que recuperaban algunos desechos para reciclarlos.

El sitio era un foco de contaminación del aire (por los olores que despedía), del suelo, del agua (la de la quebrada de Porotohuayco, a la que se suman todos los lixiviados, que va al río San Pedro aumentando sus problemas), y además, que encerraba potenciales peligros:

- De explosión por la acumulación del gas metano, pues nunca se dio tratamiento alguno.
- De derrumbes, por la inestabilidad de los taludes.

Por todo esto, el botadero de Zámbez enfrentaba la oposición de las comunidades de los barrios urbanos aledaños (San Isidro, El Inca, Campo Alegre, Monteserrín) y de la parroquia de Zámbez que, con toda justicia, reclamaban el inmediato cierre de ese sitio. (Fig. 2.7.)

---

<sup>10</sup> ORTIZ C. Gonzalo La Transformación en el manejo de los RSU de Quito, Seminario PUCE-EMASEO



**Figura 2.7. Botadero de Zábiza**

En Agosto del 2000, Quito era una de las dos capitales de América, junto con Asunción, sin un relleno sanitario. Sao Paulo, Brasilia, Buenos Aires, Bogotá, Santiago, San José, San Juan y La Paz tenían al 2000, y desde antes, buenos sistemas de rellenos sanitarios controlados. Menos buenos: Lima, Montevideo y Caracas.<sup>11</sup>

Mientras tanto Quito tenía el basurero a cielo abierto de Zábiza, iniciado casi 25 años antes y que seguía funcionando precariamente. Solo Quito y otra capital de América del Sur, Asunción, tenían botaderos. Inclusive Guayaquil, Cuenca y 3 ó 4 otras ciudades pequeñas contaban con rellenos sanitarios. No así la capital del Ecuador.

Hubo un solo intento, en 1992, de hacer un relleno sanitario, en El Cabuyal. Pero el alcalde de entonces, Rodrigo Paz, cedió ante la oposición de los moradores y desistió de hacer el relleno. Había que cerrar de urgencia el botadero de Zábiza, e iniciar un relleno sanitario moderno en alguna parte.

---

<sup>11</sup> <http://www.emaseo.gov.ec/relleno/zambiza6.jpg>



La zonificación de alto impacto era muy anterior y ya estaban situadas allí industrias peligrosas (esferas de gas, una planta incineradora de productos farmacéuticos caducados, plantas de asfalto)<sup>14</sup>. (Fig. 2.9)



**Figura 2.9 Zona de asentamiento del Relleno sanitario “El Inga”**

Desde octubre del 2002, en que se resolvió este sitio, se empezó a adecuar los estudios, resolver los problemas logísticos y contactar con las comunidades. Sin embargo, también para este nuevo sitio surgió la oposición: Manifestaciones cada vez más violentas, un muerto en enero 2003. Dos bandos: las comunidades del primer círculo se oponían a la continuación del relleno; las del segundo círculo sí lo querían.

El MDMQ lanzó una activa campaña de información y de reuniones con actores clave de la ciudad. Hubo varias tomas del relleno, no solo de los que estaban *en contra*, sino incluso de los que estaban *a favor* del relleno.

<sup>14</sup> EMASEO Seminario sobre el Relleno Sanitario “El Inga Bajo”. <http://www.emaseo.gov.ec/relleno/inga6.jpg>

Finalmente se llegó a un nuevo acuerdo hasta diciembre del 2004. Actualmente siguen negociando las comunidades cercanas al relleno y el DMQ para llegar a un acuerdo.

El relleno sanitario de Quito es una obra de ingeniería. Se controla todos los parámetros.

- Se excavan grandes fosas (“cubetos”).
- Se impermeabiliza su fondo y sus taludes. (Fig. 2.10 y 2.11)



**Figura 2.10** *Parámetros de construcción R. S. “El Inga”: a) Asentamiento de tierra, b) Tendido y posterior compactación de basura*



**Figura 2.11** *Parámetros de construcción R. S. “El Inga”: c) Aislamiento de RSU con Material de cobertura y d) Colocación de geomembrana*

- Drenaje, canalización, tratamiento de lixiviados. (Fig. 2.12)



**Figura 2.12 Fase de construcción de tanques y de recolección de lixiviados**

- Se coloca chimeneas para el Biogás. (Fig. 2.13)<sup>15</sup>



**Figura 2.13 Chimenea de biogás**

- Los RSU se pone en capas, se las compacta, se pone capas de material inerte entre ellas. (Fig. 2.14 y 2.15)

<sup>15</sup> EMASEO Seminario sobre el Relleno Sanitario “El Inga Bajo”. <http://www.emaseo.gov.ec/relleno/inga6.jpg>

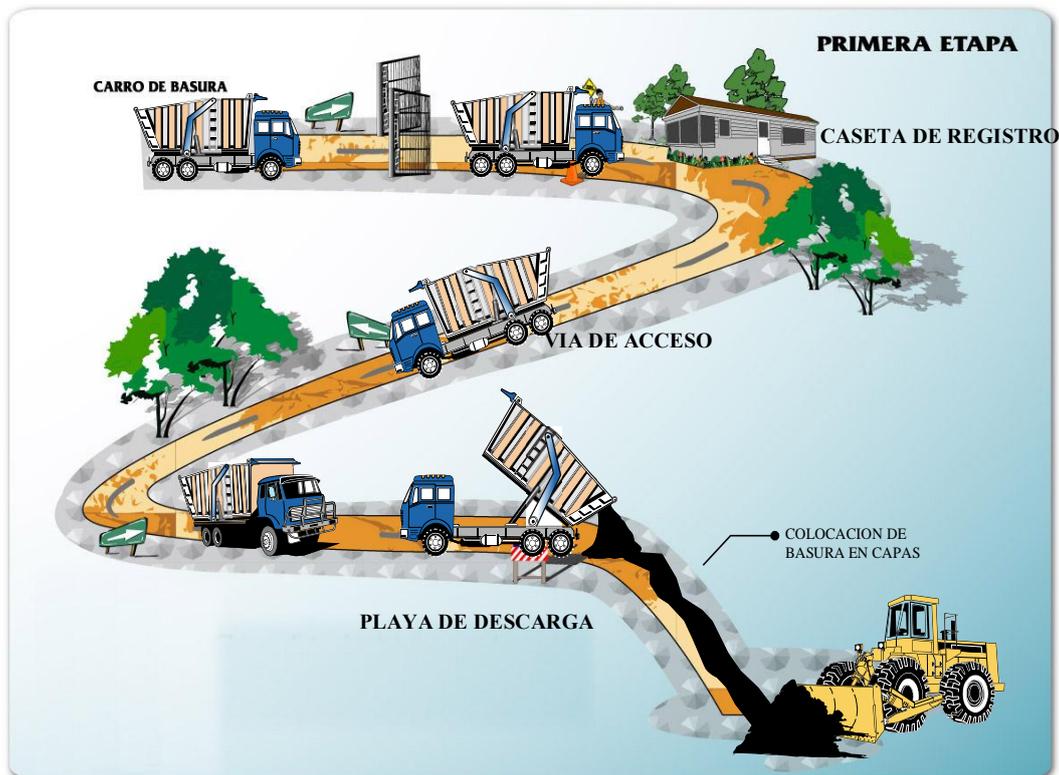


Figura 2.14 Recorrido y entrega de los RSU en el Relleno Sanitario

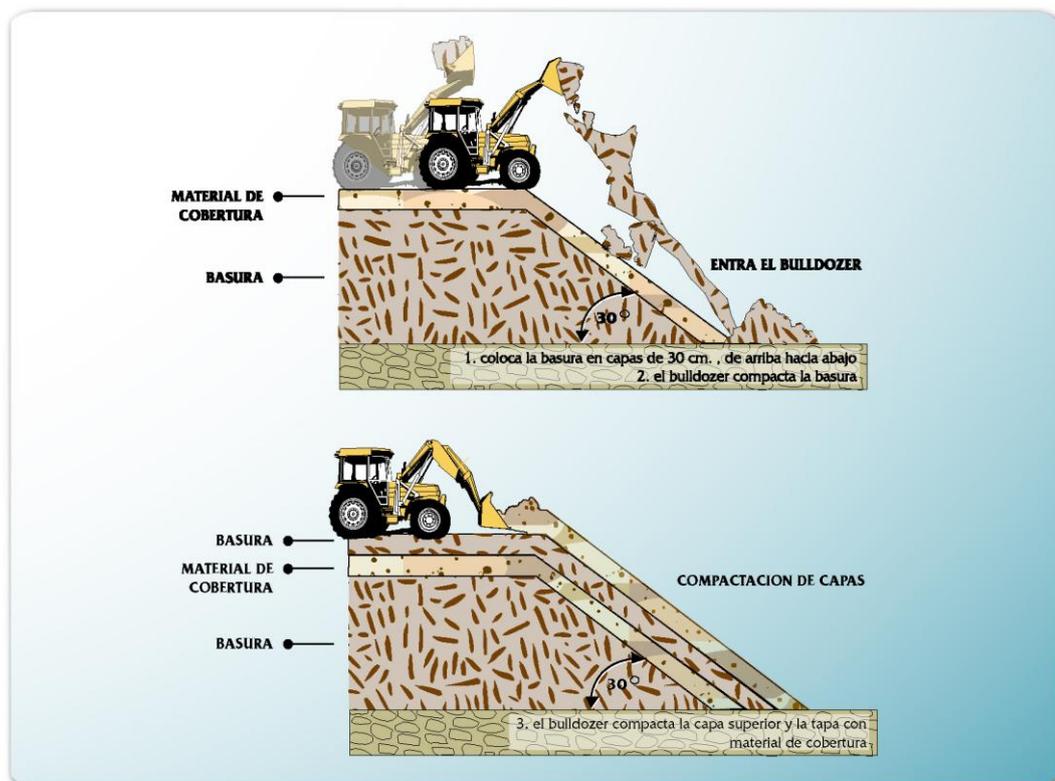


Figura 2.15 Compactación de Capas y colocación del Material de Cobertura

**Beneficios para la Comunidad:**

- Generación de empleo para diferentes grupos poblacionales ubicados en el área del proyecto.
- Inversión adecuada de los recursos captados mediante la tasa respectiva.
- Control Ambiental: Agua, Aire, Suelo
- Monitoreo permanente externo (laboratorio certificado)
- Monitoreo permanente interno (instrumentación)
- Obras de beneficio comunitario



## **CAPÍTULO III**

### **3. BIODEGRADACIÓN DE LA BASURA**

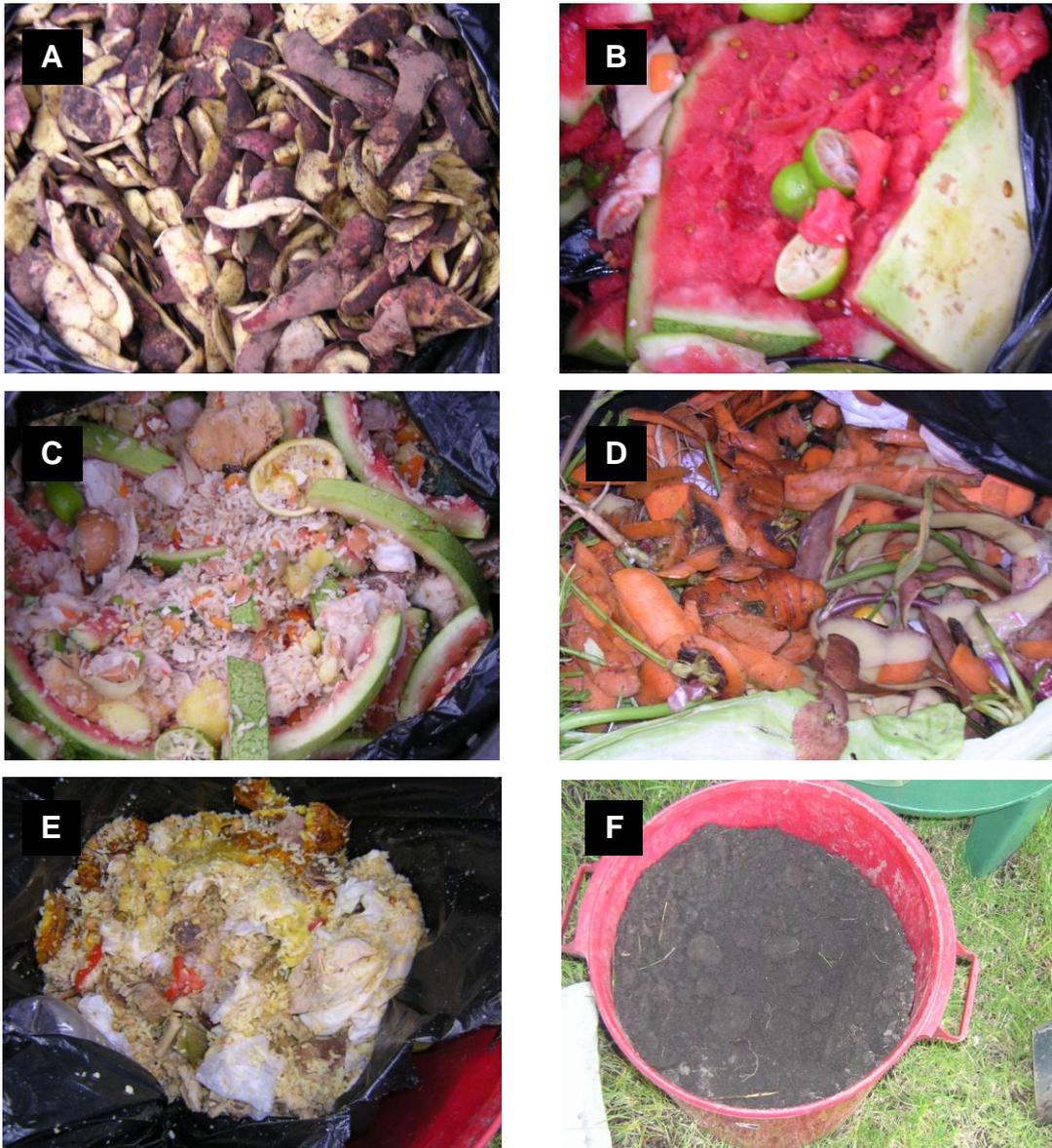
#### **3.1. BASURA ORGÁNICA A UTILIZARSE**

La basura orgánica puede ser de origen animal o vegetal y bajo ciertas condiciones ambientales puede descomponerse y transformarse en un recurso orgánico de gran valor para el desarrollo de la agricultura y otras actividades como la generación de electricidad.

Casi siempre la basura orgánica genera un gran rechazo debido a que no puede almacenarse por un periodo largo de tiempo, pues ella sufre un proceso rápido de descomposición que produce olores desagradables que atraen a organismos indeseables como moscas, cucarachas y ratones. Por esta razón las instituciones y las personas tratan de deshacerse de ella lo más rápido posible.

Los especialistas consideran que los mejores residuos orgánicos para la producción de energía son los que tienen valores apropiados de Carbono y Nitrógeno como el estiércol de los animales vacunos, cuando no están mezclados con orina, los residuos de cocina como frutas verduras, etc. y las hierbas y pastos frescos. Reconocen además los especialistas de este tema que no son buenos para producir energía los papeles en colores por la presencia de la tinta y los materiales que se encuentren contaminados con pesticidas, detergentes u otros productos venenosos.

La basura orgánica que se va a utilizar para el proyecto se concentra exclusivamente en los desechos alimenticios como son: sobras de comida en general (arroz, frutas, verduras), cáscaras de fruta (maracuyá, naranja, plátano, sandía, piña), cáscaras de papa, cáscaras de huevos, cáscaras de limón; toda esta basura mezclada con suelos (tierra) y agua. (Fig. 3.1)



**Figura 3.1. Basura Orgánica utilizada: a) cáscaras de papa, b) cáscaras de limón y frutas, c) cáscaras de huevo, d) verduras, e) sobras de alimentos (arroz, verduras), f) suelos ó tierra**

### **3.1.1.DATOS DE BASURA PARA QUITO**

La recolección de basura que se realiza para la ciudad de Quito esta a cargo de dos empresas: el consorcio Quito Limpio y la empresa EMASEO. Estas se encargan de la limpieza recolección y transporte de basura.

### 3.1.1.1. DATOS DE QUITO LIMPIO<sup>16</sup>

A continuación se presentan las tablas de recolección de basura por zonas:

**Tabla 3.1** Recolección de consorcio “Quito Limpio” en la zona sur.

<b>DETALLE ZONA SUR</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
Población	536.549	Habitantes
Producción per cápita	0.75	kg/día
Generación	402	Ton/día
Reciclaje	32	Ton/día
Recolección	342	Ton/día
Total toneladas recolectadas diarias	374	Toneladas
Población servida con recolección	456.067	Habitantes
Población no servida con recolección	80.482	Habitantes
Cobertura	85	%

**Tabla 3.2** Recolección de consorcio “Quito Limpio” en la zona centro.

<b>DETALLE ZONA CENTRO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
Población	229.569	Habitantes
Producción per cápita	0.75	kg/día
Generación	172	Ton/día
Reciclaje	42	Ton/día
Recolección	142	Ton/día
Total toneladas recolectadas diarias	184	Toneladas
Población servida con recolección	189.624	Habitantes
Población no servida con recolección	39.945	Habitantes
Cobertura	83	%

**Tabla 3.3** Total de Recolección de consorcio “Quito Limpio”.

<b>TOTAL ZONA ATENDIDA POR EL CONSORCIO "QUITO LIMPIO"</b>		
<b>DETALLE ZONA NORTE Y PARROQUIAS</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
Población	766.118	Habitantes
Producción per cápita	0.75	kg/día
Generación	575	Ton/día
Reciclaje	74	Ton/día
Recolección	484	Ton/día
Total toneladas recolectadas diarias	558	Toneladas
Población servida con recolección	645.691	Habitantes
Población no servida con recolección	120.427	Habitantes
Cobertura	84	%

<sup>16</sup> Información basada en la población del último censo del INEC

### 3.1.1.2. DATOS DE EMASEO<sup>17</sup>

A continuación se presentan las tablas de recolección de basura por zonas:

**Tabla 3.4 Recolección de empresa municipal "EMASEO" en la zona norte.**

<b>DETALLE ZONA NORTE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
Población	633.696	Habitantes
Producción per cápita	0.75	kg/día
Generación	475	Ton/día
Reciclaje	38	Ton/día
Recolección	414	Ton/día
Total toneladas recolectadas diarias	452	Toneladas
Población servida con recolección	551.949	Habitantes
Población no servida con recolección	81.487	Habitantes
Cobertura	87	%

**Tabla 3.5 Recolección de empresa municipal "EMASEO" en la zona parroquias.**

<b>DETALLE ZONA PARROQUIAS</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
Población	441.386	Habitantes
Producción per cápita	0.56	kg/día
Generación	247	Ton/día
Reciclaje	30	Ton/día
Recolección	161	Ton/día
Total toneladas recolectadas diarias	190	Toneladas
Población servida con recolección	286.901	Habitantes
Población no servida con recolección	154.485	Habitantes
Cobertura	65	%

**Tabla 3.6 Total de recolección de empresa municipal "EMASEO".**

<b>TOTAL ZONA ATENDIDA POR "EMASEO"</b>		
<b>DETALLE ZONA NORTE Y PARROQUIAS</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
Población	1.075.082	Habitantes
Producción per cápita	0.67	kg/día
Generación	722	Ton/día
Reciclaje	68	Ton/día
Recolección	575	Ton/día
Total toneladas recolectadas diarias	642	Toneladas
Población servida con recolección	838.850	Habitantes
Población no servida con recolección	236.232	Habitantes
Cobertura	78	%

<sup>17</sup> Información basada en la población del último censo del INEC

### 3.2. PROCESOS DE BIODEGRADACIÓN<sup>18,19</sup>

La biodegradación es un proceso de digestión, asimilación y metabolización de un compuesto orgánico llevado a cabo por bacterias, hongos, protozoos y otros microorganismos. En principio, todo compuesto sintetizado biológicamente puede ser descompuesto biológicamente. Sin embargo, muchos compuestos biológicos (lignina, celulosa) son difícilmente degradados por los microorganismos debido a sus características químicas. La biodegradación es un proceso natural, ventajoso no sólo por permitir la eliminación de compuestos nocivos impidiendo su concentración, sino que además es indispensable para el reciclaje de los elementos en la biosfera, permitiendo la restitución de elementos esenciales en la formación y crecimiento de los organismos (carbohidratos, lípidos, proteínas).

Los factores que interviene en el proceso de biodegradación son múltiples:

- Temperatura y humedad del suelo, estimulan el crecimiento y la actividad de los microorganismos aerobias, que necesitan oxígeno para vivir.
- La acidez del medio, el pH ácido limitan la capacidad de desarrollo de los microorganismos.
- La disponibilidad de oxígeno, hay sustancias como el aceite que no se degrada en un medio anaerobio. Y por otro lado, hay sustancias como algunos pesticidas y los tóxicos sólo se degradan en medios aerobios.
- La cantidad de basura, que pueden digerir hongos y bacterias es limitado. Un exceso de nutrientes puede desencadenar un desastre ecológico
- Naturaleza de los microorganismos, Puede ocurrir que las colonias de bacterias de un determinado terreno no sean capaces de descomponer unos residuos, que arrojados en cualquier otro lugar serían fácilmente atacados

La descomposición puede llevarse a cabo en presencia de oxígeno (aeróbica) o en su ausencia de oxígeno (anaeróbica). La primera es más completa y libera

---

<sup>18</sup> <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Biodegrada.htm>

<sup>19</sup> LEVENE R., "Ecología y medio ambiente", Secretaria de política ambiental, Biblioteca Instituto Winter Garden

energía, dióxido de carbono y agua, es la de mayor rendimiento energético. Los procesos anaeróbicos son oxidaciones incompletas y liberan menor energía.

### 3.2.1. BIODIGESTION ANAERÓBICA<sup>20</sup>

En la naturaleza, existen microorganismos conocidos como bacterias, las cuales se alimentan de residuos orgánicos o putrescibles como los señalados anteriormente. Estos microorganismos se desarrollan en condiciones anaeróbicas, es decir en ausencia de oxígeno y al alimentarse con residuos orgánicos generan gas (biogás) y lodos (bioabono) rico en nutrientes que puede ser empleado como abono, incluso como alimento de animales. (Fig. 3.2)

La transformación de los residuos orgánicos es biogás, es ciertamente un proceso complicado, pues las bacterias requieren de un ambiente muy especial, primeramente para sobrevivir y luego para multiplicarse hasta alcanzar una población suficiente para que su acción sea apreciable.

Resumiendo, las etapas importantes del proceso de biodigestión anaeróbica son:

- *Hidrólisis*: las materias primas que se utilizan sus componentes complejos como celulosa, proteínas, lípidos y otros son hidrolizados en compuestos solubles como azúcares, aminoácidos y grasas por la acción de enzimas extracelular de las bacterias.
- *Acidogénesis*: Los compuestos solubles son fermentados en ácidos grasos volátiles (ácido acético, propiónico y butírico) alcoholes, hidrógeno y CO<sub>2</sub>. Esta etapa se conoce como fermentativa.
- *Acetanogénesis*: Ocurre cuando las bacterias acetogénicas oxidan el ácido propiónico y butírico hasta ácido acético e hidrógeno que son substratos metanogénicos.
- *Metanogénesis*: En esta etapa las bacterias metanogénicas transforman los ácidos orgánicos en metano.

---

<sup>20</sup> [http://eco-gel.com/digestión\\_anaerobia.htm](http://eco-gel.com/digestión_anaerobia.htm) Digestión anaerobia. Español.

Varios factores alteran el proceso de biodigestión anaeróbica, los más importantes son:

- **Temperatura:** la temperatura afecta directamente las condiciones de un proceso controlado por crecimiento bacteriano. Pero no solo es importante la temperatura del medio, sino la temperatura a la que se encuentra la biomasa en el interior del biodigestor, que es ideal entre los 21 y 40 C, porque es el nivel en los cuales las bacterias se desarrollan eficazmente. Cuando el nivel de la temperatura de la biomasa esta por arriba o por abajo del rango de la temperatura optima, el desarrollo de las bacterias del medio y el crecimiento de las mismas se ve perjudicado provocando la disminución de la población bacteriana, y por ende una baja producción de biogás.

Es importante señalar que las bacterias responsables de la digestión anaeróbica realizan su labor en un amplio rango de temperatura: Psicofilo (medio frío), Mesofilo (medio tibio) y Termifilo (medio caliente).<sup>21</sup>

### **1. Psicofilo**

La bacteria sobrevive en el rango de 0 a 5 °C, pero la producción de biogás es insignificante, por este motivo el biodigestor tendrá que calentarse por medios externos para mejorar su productividad, destacando que la utilización de cualquier medio puede no ser rentable.

### **2. Mesofilo**

La digestión mesofilica es la mejor alternativa, su temperatura esta entre 21 y 40 °C; es bastante baja para ser mantenida fácilmente y la bacteria no es sensible a cambios de temperatura, su temperatura optima esta entre 30 y 35 °C.

### **3. Termofilico**

Este rango no es recomendado para un biodigestor que use una tecnología simple. Su temperatura esta entre 40 y 60 °C, su optima entre 50 y 55 °C. Se

---

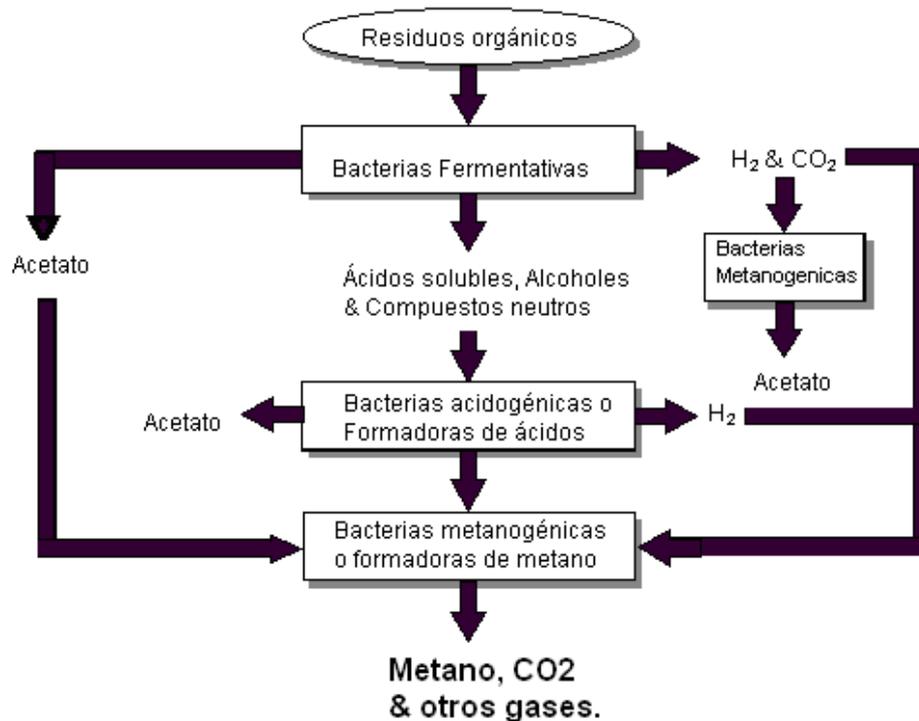
<sup>21</sup> HUAMAN W., "Estudio del aprovechamiento de la fracción organica de los RSU para la obtención del biogás en el cantón La Libertad, provincia del Guayas", año 2001, ESPOL.

requiere mantener más energía en el biodigestor; además esta bacteria es más sensitiva a los cambios bruscos de temperatura. La ventaja de la generación Termofila es que el gas cuyo potencial esta en el sustrato (residuos orgánicos), se generara mas rápidamente; sin embargo, no se incrementa la producción total de gas, es decir la misma cantidad de gas se producirá a 21 ó 60 °C.

- **Grado de acidez:** es el principal parámetro a controlar durante el proceso de producción de biogás, es necesario que el valor de ph existente en la biomasa (sustrato mas agua) no sea muy acido o muy alcalino, es recomendable que este entre 6.5 y 7.5, porque cualquiera de los dos extremos trae perjudiciales resultados y consecuencias negativas como es la muerte de las bacterias.

Cuando comienza la biodigestión se realiza un desequilibrio en el ph de la biomasa, esto puede arreglarse añadiendo bicarbonato de sodio de 50 a 100 gramos por cada 1m<sup>3</sup> de biomasa, solo se debe usar bicarbonato en casos muy necesarios.

### El Proceso de digestión anaeróbica



*Figura 3.2 Proceso de degradación anaeróbica.*

### **3.3. GASES Y PRODUCTOS SÓLIDOS GENERADOS**

Es muy conocido el efecto por el cual, una gran variedad de desechos orgánicos se degradan produciendo un gas combustible, rico en metano. El proceso se produce siempre y cuando el material se encuentre en un ambiente cerrado libre de oxígeno (fermentación anaeróbica). El gas así producido se denomina BIOGAS y los residuos producidos es un lodo rico en nutrientes, denominado BIOABONO.

#### **3.3.1. BIOABONO<sup>22</sup>**

El residuo que resulta de la digestión anaeróbica recibe el nombre de bioabono, es un lodo rico en nutrientes y uno de los mejores abonos naturales, pues concentra muchos elementos residuales que ordinariamente, en la descomposición aeróbica se pierden por su carácter volátil; además presenta un pH elevado que le da cualidades de un abono orgánico de buena calidad comparable con los tradicionales abonos utilizados en el campo, como la galinaza o el estiércol de res.

Entre las bondades del bioabono podemos mencionar las siguientes:

- Es un excelente humus, que mejora las propiedades del suelo.
- Absorbe mejor y más rápidamente el agua lluvia evitando la erosión y conservando la humedad del suelo por más tiempo.
- Mejora la porosidad del suelo permitiendo mejor aireación en zonas exploradas por las raíces facilitando su respiración y su crecimiento.
- Su aplicación al suelo es fácil.
- No produce emanaciones de olores, debido a la digestión anaeróbica.

El bioabono carece prácticamente de olor debido a que las sustancias provocadoras del mal olor son reducidas casi en su totalidad en función al tiempo de retención.

---

<sup>22</sup> [http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/grilli/garilli\\_biodigest.htm](http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/grilli/garilli_biodigest.htm) Manual de producción de biogás. Español.



Figura 3.3 Desechos (basura) después del proceso de biodegradación (lodos).

### 3.3.2. BIOGAS<sup>23</sup>

Se llama biogás al gas que se produce mediante un proceso de descomposición de materia orgánica sin la presencia de oxígeno del aire (digestión anaeróbica).

Este biogás es combustible, por su alto poder calórico se lo usa frecuentemente en la cocción de alimentos, en lámparas para alumbrado, así como para la alimentación de motores de combustión interna que accionan maquinas herramientas, generadores eléctricos.

La composición química típica del biogás viene dada en la tabla 3.7.

**Tabla 3.7 Composición química del biogás**

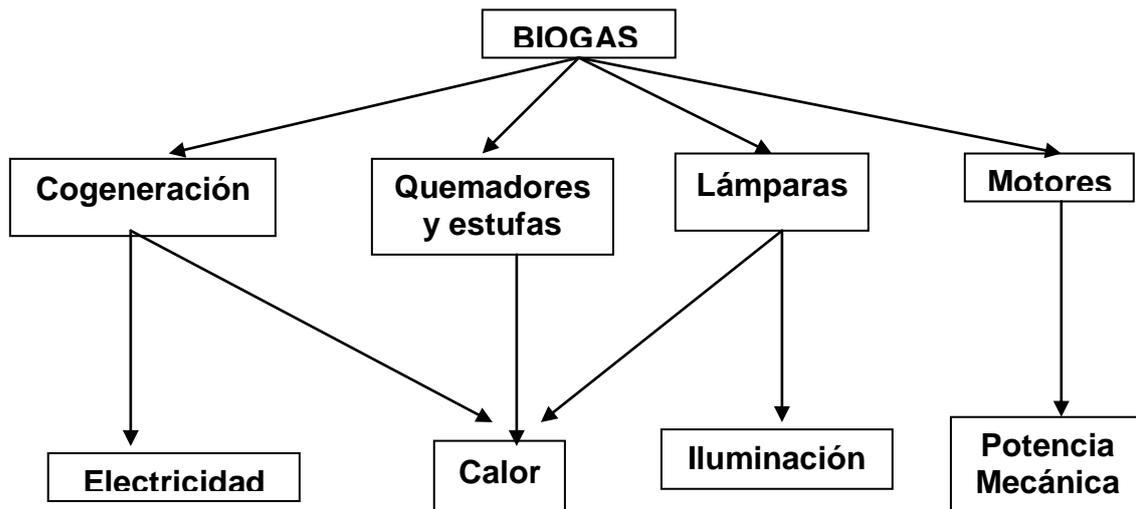
<b>Compuesto</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Metano (CH <sub>4</sub> )	55 - 70
Dióxido de carbónico (CO <sub>2</sub> )	35 - 40
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	0.5 - 3
Sulfuro de Hidrogeno (H <sub>2</sub> S)	0.1
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	1 - 3

Como se observa un elevado porcentaje de la composición corresponde al metano, el cual es un gas combustible permitiendo el empleo del biogás con

<sup>23</sup> <http://www.monografias.com/trabajos15/utilización-biogás.shtml>. consideraciones sobre la utilización del biogás. Que es el biogás. Español.

fines energéticos. Si se desea mejorar el valor calórico del biogás se debe limpiarlo del CO<sub>2</sub>. De esta forma se logra obtener metano al 95%. El valor calórico del metano aumenta con una combustión mas limpia (sin humo) y casi no contamina.

En principio el biogás puede ser utilizado en cualquier tipo de equipo comercial para uso de gas natural, la figura 3.4 resume las posibles aplicaciones<sup>24</sup>.



*Figura 3.4 Posibles aplicaciones del Biogás*

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto nafteros como diesel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110, lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido.

En los motores de ciclo Otto el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100% de biogás con una merma de potencia máxima del 20% al 30%.

A los motores de ciclo Diesel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control manteniendo el sistema de inyección convencional. De esta

<sup>24</sup> [http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/grilli/grilli\\_biodigest.htm](http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/grilli/grilli_biodigest.htm). Manual de producción de biogás. Español.\_

manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogás diesel y puede convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro lo cual los hace muy confiables.

Los motores a biogás tienen amplio espectro de aplicación siendo los más usuales el bombeo de agua y el funcionamiento de ordeñadores en el área rural. El otro uso muy generalizado es su empleo para activar generadores de electricidad.

## CAPITULO IV

### 4. LIMPIEZA DEL BIOGAS

#### 4.1. SEPARACIÓN DE CO<sub>2</sub> Y OTROS GASES<sup>25</sup>

Como establece la tabla 3.7 el biogás se compone de una mezcla de gases como metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono en su mayor proporción, y nitrógeno (N<sub>2</sub>), hidrógeno (H<sub>2</sub>) y sulfuro de hidrogeno (H<sub>2</sub>S) en proporciones menores.

De los gases mencionados anteriormente, la técnica recomienda eliminar o reducir en forma económica los gases no combustibles presentes en el biogás para obtener mejores rendimientos en cuanto a uso y aprovechamiento se refiere, para lo cual será necesario conocer el volumen de biogás disponible y el uso que se dará al mismo.

Generalmente la técnica recomienda eliminar el dióxido de carbono por su alta concentración y el sulfuro de hidrogeno aunque su concentración sea muy baja. Sin embargo hay que tener presente que depende del uso que se le de al biogás, para indagar la necesidad y los costos que implican eliminar cualquiera de estos dos componentes.

Existen varios métodos para eliminar el contenido de sulfuro de hidrogeno en el biogás, siendo el mas utilizado el burbujeo del biogás en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 10%.

Cuando el gas producido se utiliza como combustible para motores, se recomienda eliminar el dióxido de carbono y para ello es recomendable usar carbón activado porque su precio es relativamente bajo y además se lo puede regenerar y reusar. Este método se utilizará para la limpieza del biogás en el presente proyecto.

---

<sup>25</sup> HUAMAN W., "Estudio del aprovechamiento de la fracción orgánica de los RSU para la obtención del biogás en el cantón La Libertad, provincia del Guayas", año 2001, ESPOL.

#### **4.1.1. CARBON ACTIVADO A UTILIZAR.**

El carbón activado que se va a utilizar en el proyecto para la limpieza del biogás, fue proporcionado por la empresa AGROINDUSTRIA Y REPRESENTACIONES AGROREPRAIN S.A. productores de carbón activado para el Ecuador.

Los carbones Activados “ECO K” son elaborados en base de cáscara de coco de palma africana rigurosamente seleccionada de las mejores plantaciones de palma africana en Ecuador, siendo esta materia prima la más adecuada para producir carbones activados regenerables de alta calidad y de gran dureza y resistencia a la abrasión. Básicamente, existen 2 tipos de Carbón Activado:

- Carbón Activado en Polvo ( P.A.C.)
- Carbón Activado Granular, en grano. ( G.A.C.)



***Figura 4.1 Carbón Activado Granular***

El carbón activado es carbón poroso que se produce artificialmente de manera que exhiba un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna. Estas características, junto con la naturaleza química de los átomos de carbono que lo conforman, le dan la propiedad de atraer y atrapar de manera preferencial ciertas moléculas del fluido que rodea al carbón.

La estructura microporosa con una superficie interna muy elevada (700 – 1200 m<sup>2</sup>/g) le confiere a los carbones las más altas y eficientes propiedades de adsorción.

El fenómeno por el cual átomos y/o moléculas de impurezas se adhieren a la superficie de un adsorbente como es el carbón activado se denomina

adsorción, al sólido se le denomina “adsorbente” y a la molécula atrapada “adsorbato”.

Los microporos de los carbones actúan como tamices moleculares basando la acción de purificación en este método. La adsorción es un proceso donde un sólido se utiliza para quitar una sustancia soluble del agua. En este proceso el carbón activo es el sólido. El carbón activo se produce específicamente para alcanzar una superficie interna muy grande. Esta superficie interna grande hace que el carbón tenga una adsorción ideal.

Por lo tanto, el carbón activado se considera un adsorbente casi universal de moléculas orgánicas. Debido a lo anterior una de las principales aplicaciones del carbón activado es la purificación de líquidos y gases contaminados con alguna molécula orgánica.

#### 4.1.1.1. CARACTERISTICAS DEL CARBON ACTIVADO “ECO K-70”

Las características presentadas en las siguientes tablas son proporcionadas por el fabricante AGROREPRAIN S. A.:

**Tabla 4.1 Características Carbón Activado<sup>26</sup> Eco K – 70 malla 12x20**

<b>Tamaño de partícula</b>	4x8 / 8x20 / 12x40
<b>Densidad aparente (ASTM 2854)</b>	0.45 – 0.50 g/cm <sup>3</sup>
<b>Area superficial específica (N2 BET Method)</b>	700
<b>Numero de Yodo (JIS)</b>	700
<b>Cenizas (ASTM 2866)</b>	Máx. 12
<b>Dureza (ASTM 3802)</b>	90 – 96
<b>Volumen del poro</b>	0.30 - 0.40 cm <sup>3</sup> /g
<b>Humedad al empaque (ADTM 2867)</b>	Máx. 6

<sup>26</sup> Información proporcionada por AGROREPRAIN S.A.

**Tabla 4.2 Tamaño de mallas de carbón activado.<sup>27</sup>**

STÁNDAR TYLER	MESH U.S.	OPENING	
		mm	Inches
4	4	4.70	0.185
6	6	3.33	0.131
8	8	2.36	0.094
10	10	1.65	0.065
12	12	1.40	0.056
14	14	1.17	0.047
16	16	0.991	0.039
20	20	0.833	0.033
24	25	0.701	0.028
28	30	0.589	0.023
32	35	0.495	0.020
35	40	0.417	0.016
42	45	0.351	0.014
48	50	0.295	0.012

#### **4.1.1.2. APLICACIONES DEL CARBON ACTIVADO.**

Las aplicaciones del carbón activado son diversas y se realizan tanto en fase líquida como en la fase gaseosa. Entre estas aplicaciones se encuentran:

- Purificación y tratamiento de aguas.
- Procesamiento de efluentes industriales.
- Protección de resinas de intercambio de iónico.
- Purificación y decoloración de aceites vegetales y minerales.
- Recuperación de solventes.
- Purificación de bebidas alcohólicas, gaseosas y cervezas.
- Purificación de hidrocarburos y sus derivados.
- Tratamiento de café.

---

<sup>27</sup> Información proporcionada por AGROREPRIN S.A.

- Mascaras antigases.
- Purificación de aire en campanas extractoras y ductos de ventilación.
- Filtros de cigarrillos.
- Filtros de purificación comprimidos de aire, de gas.



**Figura 4.2 Carbón Activado “ECO K-70 utilizado en el proyecto**

#### **4.1.2. DISEÑO DEL FILTRO**

Para el diseño del filtro se va a utilizar la tabla 4.1 cuyos datos corresponden al carbón activado “ECO K”.

#### 4.1.2.1. CALCULO DEL CUERPO DEL FILTRO DE SEPARACIÓN DE CO<sub>2</sub>

Para el cálculo del cuerpo del filtro se baso en un tubo de 4 plg calibre 40, cuyas características son:

*Tabla 4.3 Características tubo de 4 plg. Calibre 40<sup>28</sup>*

Ø nominal		Ø externo		Ø interno		Espesor de pared	
plg.	mm	plg.	mm	plg.	mm	plg.	mm
4	101.6	4.5	114.3	4.026	102.3	0.242	6.15

$$\text{Masa} := 2000 \quad \mathbf{g}$$

Cantidad de Carbón Activado

$$\rho := 0.5 \quad \frac{\mathbf{g}}{\mathbf{cm}^3}$$

Densidad del Carbón Activado tabla 4.1

$$\text{Vol}_F := \frac{\text{Masa}}{\rho}$$

$$\text{Vol}_F = 4 \times 10^3 \quad \mathbf{cm}^3$$

Volumen del Filtro

$$D = 4.026 \quad \mathbf{plg}$$

Diámetro del Filtro

(Tubo de 4 plg diámetro interior)

$$D := 10.16 \quad \mathbf{cm}$$

$$H := \frac{4 \cdot \text{Vol}_F}{\pi \cdot D^2}$$

$$H = 49.338 \quad \mathbf{cm}$$

Altura del Filtro entre Soportes de Malla

<sup>28</sup> MEGYESYF. Eugene, Pressure Vesel Handbook 12 ed. Tulsa, Oklahoma Pressure Vesel Publishing. Inc.

$$H1 := \frac{H}{15}$$

$$H1 = 3.289 \quad \text{cm}$$

Altura entre Soportes de Malla  
y Borde del Filtro

$$H_{\text{total}} := H + 2 \cdot H1$$

$$H_{\text{total}} = 55.917 \quad \text{cm}$$

Altura Total del Filtro sin Tapas

$$H_{\text{total}} = 56 \quad \text{cm}$$

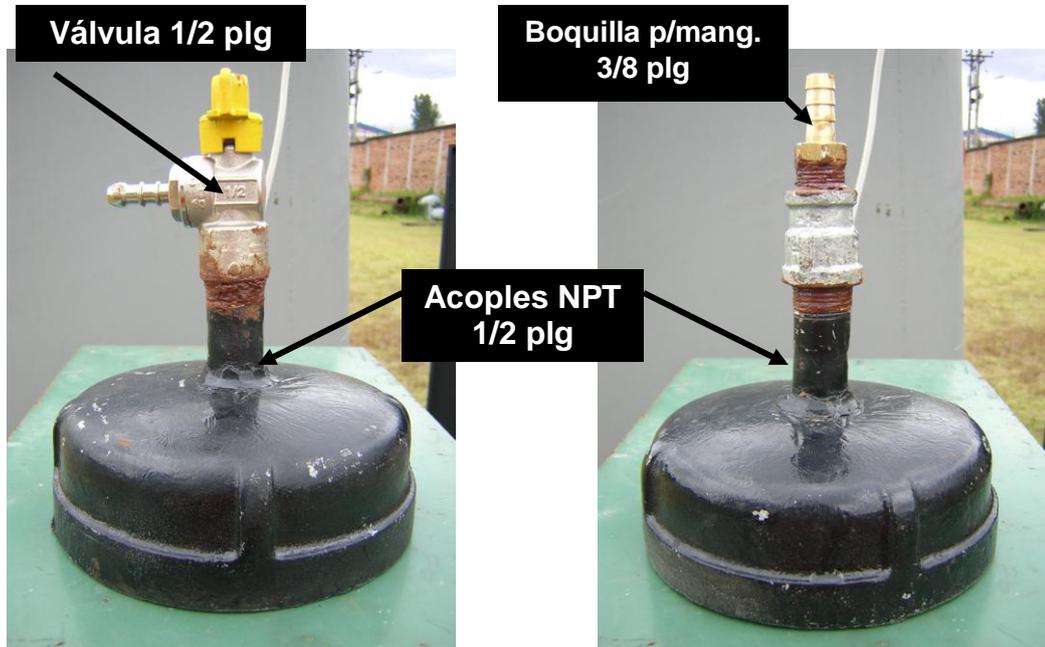


*Figura 4.3 Cuerpo del filtro*

#### **4.1.2.2. SELECCIÓN DE LAS TAPAS DEL FILTRO DE SEPARACIÓN DE CO<sub>2</sub>**

Basado en las medidas correspondientes al cálculo del cuerpo se procede a escoger como tapas del filtro a 2 tapones hembras galvanizados clase 150 de 4 plg. de diámetro cuyo diseño y medidas están estandarizadas. A estos tapones se les realizó un hueco en la parte superior para en ellos soldar un acople NPT

de 1/2 plg. y 20 mm de alto, en estos acoples van colocados una válvula de media vuelta de 1/2 plg. y una boquilla para manguera de 3/8 plg . Al cuerpo del filtro se soldaron 4 ángulos para su empotramiento. (Ver ANEXO A)



*Figura 4.4 Tapas del filtro de 4 plg.*

#### **4.1.2.3. SELECCIÓN DE LA MALLA METÁLICA**

En el interior del filtro se encuentran soldadas dos placas circulares en las cuales van colocadas dos mallas metálicas las cuales cumplen con la función de soporte del carbón activado para que este no se desplace hacia la entrada o salida del filtro y nos provoque una obstrucción para el paso del gas. Para ello se selecciono una malla metálica de acero inoxidable mesh 80 x 80, los agujeros que presenta la malla metálica son mucho mas pequeños que el diámetro del carbón activado permitiendo así que este no se filtre por la malla permaneciendo en el lugar diseñado en el filtro.



*Figura 4.5 Soporte y malla metálica*

## 4.2. CANTIDAD DE CH<sub>4</sub>

El filtro de carbón activado funciona bajo el mismo principio de un filtro de arena de plantas de agua potable, la diferencia radica en los elementos filtrantes y su finalidad. El carbón activado es un material natural que con millones de agujeros microscópicos intercepta, y captura moléculas de contaminantes presentes en corrientes gaseosas o líquidas. Los filtros de carbón se diseñan para remover cloro, sabores, olores y demás químicos orgánicos. También es uno de los procesos finales del sistema de tratamiento de agua, su función es pulir la descarga final.

La eficiencia de separación de estos sistemas oscila entre 90% – 96%. El tiempo de operación de los filtros de carbón, se determina monitoreando la concentración del CO<sub>2</sub> de salida de la columna, cuando la razón entre el CO<sub>2</sub> a la salida y el CO<sub>2</sub> es del 5% al 10%, se inicia el proceso de retrolavado.

El gas natural es metano (CH<sub>4</sub>) en más de un 90%, no tiene olor, ni color y su poder calorífico es de 9341 Kcal/m<sup>3</sup> (1,052 Btu/ft<sup>3</sup>).<sup>29</sup> Es un combustible fósil creado por la descomposición anaeróbica de materia orgánica y se encuentra junto al petróleo y carbón.

<sup>29</sup> [http://www.agroeconomico.cl/articulos\\_detalle.php?articulo=3586](http://www.agroeconomico.cl/articulos_detalle.php?articulo=3586) Poder Calorífico del metano y biogás

El mismo tipo de bacterias anaeróbicas que produjeron el gas natural hace millones de años, hoy producen el metano. Las bacterias anaeróbicas "rompen" o digieren la materia orgánica en ausencia de oxígeno y producen el biogás. Su poder calorífico es de 5564 Kcal/m<sup>3</sup> (625 BTU/ft<sup>3</sup>)<sup>30</sup>, cercano a la mitad del poder calorífico del gas natural.

La Tabla 4.4 provee las principales propiedades del metano.

**Tabla 4.4 Propiedades generales del metano.**

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Peso molecular	16,043	g/mol
<b>Fase sólida</b>		
Punto de fusión	-182,5	°C
Calor latente de fusión (1,013 bar)	58,68	kJ/kg
<b>Fase líquida</b>		
Densidad del líquido (1,013 bar)	422,62	kg/m <sup>3</sup>
Líquido/Gas equivalente (1,013 bar y 15 °C)	630	vol/vol
Punto de ebullición (1,013 bar)	-161,6	°C
Calor latente de vaporización (1,013 bar)	510	kJ/kg
<b>Punto crítico</b>		
Temperatura crítica	-82,7	°C
Presión crítica	45,96	bar
<b>Fase gaseosa</b>		
Densidad del gas (1,013 bar)	1,819	kg/m <sup>3</sup>
Factor de compresibilidad (Z) (1,013 bar y 21 °C)	0,998	
Gravedad específica (aire=1)	0,55	
Volumen específico (1,013 bar y 21 °C)	1,48	m <sup>3</sup> /kg
Capacidad calorífica a presión constante (C <sub>p</sub> )	0,035	kJ/(mol*°K)

<sup>30</sup> [http://www.agroeconomico.cl/articulos\\_detalle.php?articulo=3586](http://www.agroeconomico.cl/articulos_detalle.php?articulo=3586) Poder Calorífico del metano y biogás

**Continuación tabla 4.4 Propiedades generales del metano**

Capacidad calorífica a volumen constante (Cp)	0,027	kJ/(mol*°K)
Ratio de calores específicos (Cp/Cv)	1,305454	
Viscosidad (1,013 bar)	0,0001027	Poise
Conductividad térmica (1,013 bar)	32,81	mW/(m*°K)
<b>Varios</b>		
Solubilidad en agua (1,013 bar)	0,054	
Temperatura de auto ignición	595	°C

### **4.3. DISPOSICIÓN FINAL DEL ADSORBENTE**

Una vez que el carbón activado ha sido saturado con los componentes que debe remover en una aplicación específica, puede ser regenerado usando una serie de procesos, para recuperar su “estado original”. El carbón activado se satura después de algunas horas de uso y según la aplicación a la que vaya a ser sometido.

Las ventajas de la regeneración son, principalmente, el que se reduce el costo para el usuario y que se reduce considerablemente el problema de la eliminación o almacenamiento del material gastado. La regeneración puede realizarse “in situ”, en la propia instalación del usuario o, más frecuentemente, en los sistemas de regeneración de los propios fabricantes. El método más simple de regeneración es la desorción de las sustancias adsorbidas por tratamiento térmico o por desgasificación.

Lo que se suele hacer es pasar una corriente de vapor de agua sobrecalentado o de gas inerte a alta temperatura a través del lecho de carbón; este procedimiento es la base del proceso de recuperación de disolventes y del sistema PSA (pressure swing adsorption) utilizado en la separación de mezclas de gases. En algunos casos la regeneración se ha de llevar a cabo en condiciones de activación para descomponer las sustancias adsorbidas y es en la práctica una reactivación.

Aunque cualquier tipo de horno es adecuado para la regeneración, los tipos preferidos por la mayoría de las industrias son el de solera múltiple o el rotatorio. A pesar que actualmente es posible regenerar cualquier tipo de carbón activado, la regeneración está en este momento casi restringida al carbón granular, por su mayor costo, porque en el caso del carbón en polvo las pérdidas de material pueden ser demasiado elevadas.

En el proyecto no se realizó la regeneración del carbón activado porque no se contó con los aparatos necesarios para realizar dicho proceso y por los costos que implicaban, ya que los métodos de regeneración de carbón activado suelen ser térmicos (en horno o mediante vapor), o también químicos; por lo que se reemplazo el carbón activado en el filtro cada vez que se iba a realizar una fase de pruebas.

## CAPITULO V

### 5. REDISEÑO DEL PROTOTIPO

#### 5.1. REDISEÑO Y CAMBIO DE PARTES Y MATERIALES

El prototipo inicial fue modificado a fin de conducir algunas pruebas que permitan evaluar su rendimiento. Los cambios de partes y materiales y el rediseño de otras volvieron al prototipo más confiable y fácil de operar. A continuación se detallan las modificaciones realizadas:

##### 5.1.1. DISEÑO DE TANQUES

Para la biodegradación de la materia orgánica (basura) y para la acumulación del biogás, se llevó a cabo el diseño y la construcción de dos tanques. Estos fueron construidos en acero A36 con el propósito de obtener suficiente estanqueidad y no tener pérdidas de gas.

- Tanque de biodegradación, capacidad 800 L (ver ANEXO B)
- Tanque de acumulación de biogás, capacidad 200 L. (ver ANEXO C)

##### 5.1.1.1. TANQUE DE BIODEGRADACIÓN (Biodigestor).<sup>31</sup>

El diseño del tanque fue realizado siguiendo los lineamientos del código ASME Sección VIII División I referido a Recipientes a Presión<sup>32</sup>. Los cálculos se describen a continuación:

$$r := 500 \quad \text{mm}$$

Diámetro del tanque 1000 mm

$$r1 := 19.685 \quad \text{plg}$$

---

<sup>31</sup> MEGYESYF. Eugene, Pressure Vesel Handbook 12 ed. Tulsa, Oklahoma Pressure Vesel Publishing. Inc.

<sup>32</sup> ALCOSER J. Pablo Apuntes de Diseño Mecánico ASME Sección VIII Div. I referido a Recipientes a presión 2005

$$h1 := 1050 \text{ mm}$$

Altura del tanque

$$V1 := \pi \cdot r^2 \cdot h1$$

$$V1 = 8.247 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

Volumen del tanque 800 L

### Calculo de Espesores

Material Acero A36

1 pie de agua es 0.433 psi

$$Pop := 8 \text{ psi}$$

Presión de operación

$$E := 0.85$$

Eficiencia

$$S := 16600 \text{ psi}$$

Esfuerzo

$$CA := \frac{1}{8} \text{ plg}$$

Corrosión admisible

$$\text{Nivel\_tanque} := 1$$

Lleno al 100%

$$Pd := Pop + 30 + 3.28 \cdot 0.433 \cdot \text{Nivel\_tanque}$$

$$Pd = 39.4202 \text{ psi}$$

Presión de diseño

### Espesor del cuerpo

$$t := \frac{Pd \cdot r1}{S \cdot E + 0.4 \cdot Pd} + CA$$

$$t = 0.1799 \text{ plg}$$

$$t = \frac{3}{16} \text{ plg}$$

Espesor recomendado para la construcción

### Espesor de la cabeza

$$t_1 := \frac{Pd \cdot r_1}{2S \cdot E + 0.8 \cdot Pd} + CA$$

$$t_1 = 0.1525 \quad \text{plg}$$

$$t_1 = \frac{3}{16} \quad \text{plg}$$

Espesor recomendado  
para la construcción



**Figura 5.1 Tanque Biodigestor (cap. 800 L)**

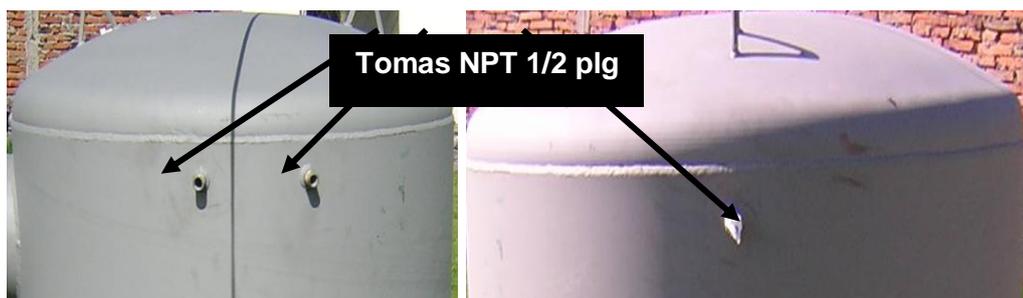
El tanque biodigestor (Fig. 5.1) sirve para almacenar la materia orgánica que luego será sometida a biodegradación. Tiene una capacidad de 800 L, de los cuales 600 L se llenan con basura, suelos y agua, y los 200 L restantes servirán para almacenar el biogás. El tanque tiene las siguientes características principales:

- 1 brida para la carga de materia orgánica, suelos y agua.
- 1 brida para la descarga de los residuos de la biodegradación.



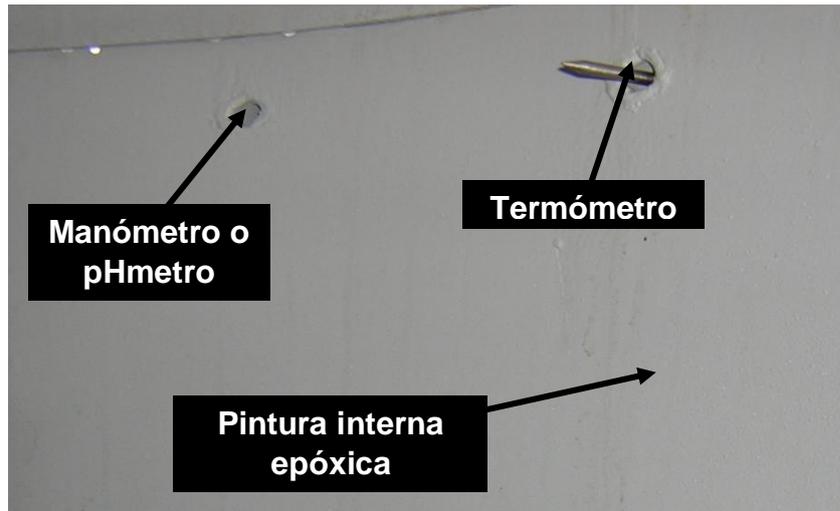
**Figura 5.2** Bridas de carga y descarga.

- 3 tomas NPT (1/2 plg.), para colocar manómetro, termómetro, pHmetro y válvula.



**Figura 5.3** Tomas NPT de 1/2 plg.

- Recubrimiento interno y externo de pintura epóxica para evitar la corrosión.



*Figura 5.4 Recubrimiento anticorrosivo*

- 3 patas que soportan todo el peso del tanque.



*Figura 5.5 Patas de soporte del tanque*

- 2 ángulos soldados en la parte superior para fines de transporte.



*Figura 5.6 Ángulos soldados para transporte*

### 5.1.1.2. TANQUE PARA ACUMULACIÓN DE BIOGAS<sup>33,34</sup>

$r2 := 300$        $mm$       Diámetro del tanque 600 mm

$r3 := 11.811$        $plg$

$h2 := 670$        $mm$       Altura del tanque

$$V1 := \pi \cdot r2^2 \cdot h2$$

$V1 = 1.894 \times 10^8$        $mm^3$       Volumen del tanque 200 L

#### Calculo de Espesores

Material Acero A36

1 pie de agua es 0.433 psi

$Pop := 45$        $psi$       Presión de operación

$E := 0.85$       Eficiencia

$S := 16600$        $psi$       Esfuerzo

$CA := \frac{1}{8}$        $plg$       Corrosión admisible

$Nivel\_tanque := 1$       Lleno 100%

$$Pd := Pop + 30 + 1.969 \cdot 0.433 \cdot Nivel\_tanque$$

$Pd = 75.8526$        $psi$       Presión de diseño

---

<sup>33</sup> MEGYESYF. Eugene, Pressure Vesel Handbook 12 ed. Tulsa, Oklahoma Pressure Vesel Publishing. Inc.

<sup>34</sup> ALCOSER J. Pablo Apuntes de Diseño Mecánico ASME Sección VIII Div. I referido a Recipientes a presión 2005

### Espesor del cuerpo

$$t_2 := \frac{Pd \cdot r_3}{S \cdot E + 0.4 \cdot Pd} + CA$$

$$t_2 = 0.188 \quad \text{plg}$$

$$t_2 = \frac{3}{16} \quad \text{plg}$$

Espesor recomendado  
para la construcción

### Espesor de la cabeza

$$t_3 := \frac{Pd \cdot r_3}{2S \cdot E + 0.8 \cdot Pd} + CA$$

$$t_3 = 0.157 \quad \text{plg}$$

$$t_3 = \frac{3}{16} \quad \text{plg}$$

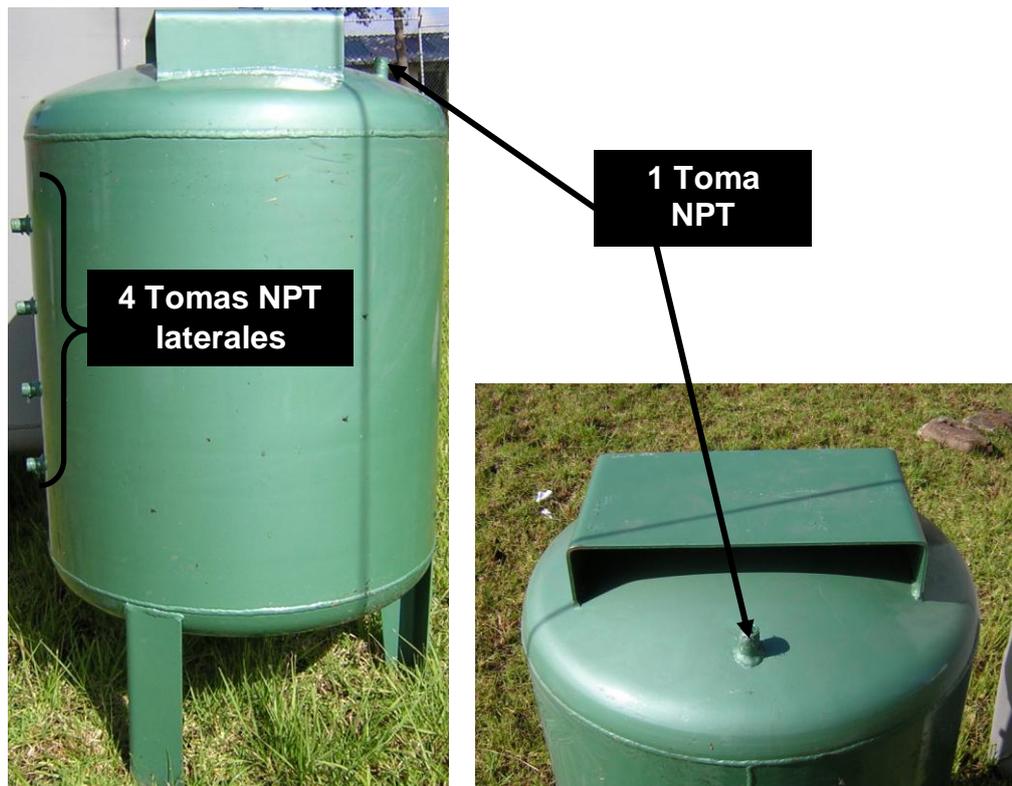
Espesor recomendado  
para la construcción



Figura 5.7 Tanque para acumulación de biogás (cap. 200 L)

El tanque para acumulación (Fig. 5.7) se lo destina para el almacenamiento a alta presión del biogás obtenido y tiene una capacidad de 200 L; entre sus características se mencionan las siguientes:

- 5 tomas NPT (1/2”) para colocar manómetro y válvulas para la entrada y salida del gas. Están colocadas 4 en la parte lateral del tanque y 1 en la parte superior del mismo.



**Figura 5.8 Tomas NPT 1/2 plg.**

- Soporte en la parte superior del tanque para colocar un caudalímetro.
- Recubrimiento externo de pintura anticorrosivo.
- 3 patas que soportan todo el peso del tanque.



*Figura 5.9 Soporte y pintura anticorrosiva*

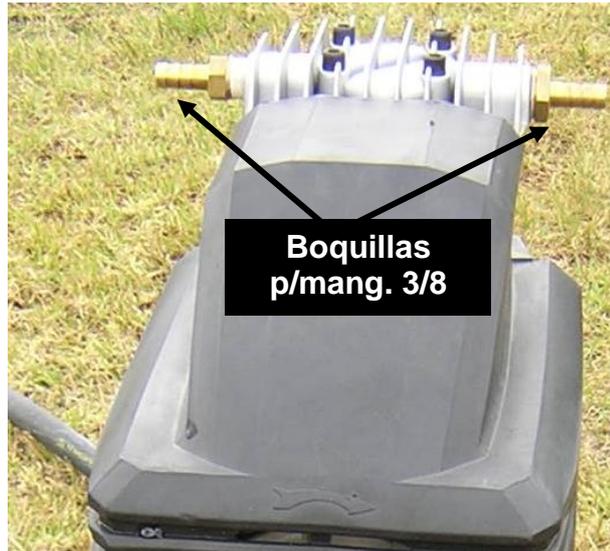
### 5.1.2. SISTEMA DE COMPRESIÓN DEL GAS

Para extraer biogás del tanque biodigestor y comprimirlo en el tanque de acumulación se utilizó un compresor de marca Liinkonn de 2 HP. (Fig. 5.10)



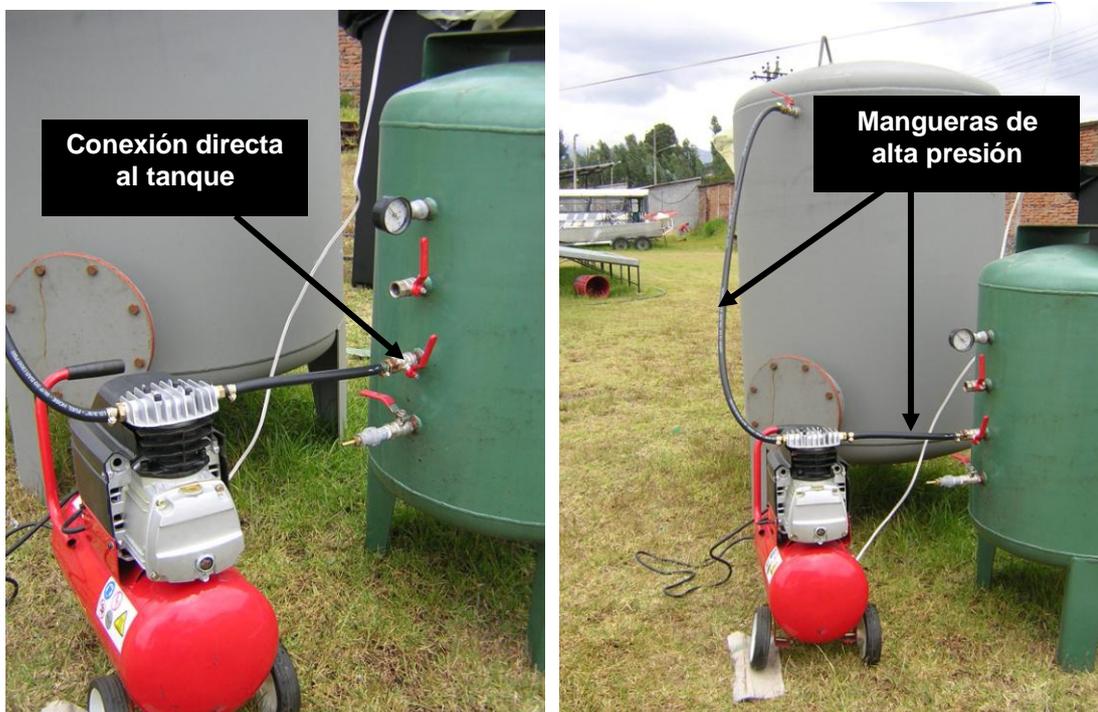
*Figura 5.10. Compresor 2 HP.*

Se cambiaron algunas partes del compresor para acoplarlo a los tanques. Se sustituyó el filtro de aire y la tubería de cobre que va desde la salida del compresor a la entrada del tanque, por boquillas para manguera de 3/8 plg, a fin de facilitar la extracción y compresión del biogás.



**Figura 5.11 Cambio de partes del compresor**

El compresor realiza la extracción del biogás del tanque biodigestor y lo comprime en el tanque de acumulación a 40 psi aproximadamente, el transporte se hace a través de mangueras de alta presión y temperatura.



**Figura 5.12 Conexión del compresor a los tanques**



**Figura 5.13 Presión de 40 psi (tanque de acumulación)**

### **5.1.3. MEDIDOR DE CAUDAL**

Se utilizó un medidor de caudal (Fig. 5.14) el cual ayuda a regular la cantidad de biogás que pasa al filtro y posteriormente al motor-generator. El caudalímetro tiene las siguientes características:

- Flujo máx. 2.5 m<sup>3</sup>/h. (Dato del fabricante)
- Flujo min. 0.016 m<sup>3</sup>/h. (Dato del fabricante)
- Vol. Cíclico 0.7 L. (Dato del fabricante)



**Figura 5.14 Características del caudalímetro**

- 2 tomas, una de entrada y una de salida de biogás.



**Figura 5.15 Caudalímetro**

A las tomas de entrada y salida de flujo de biogás en el caudalímetro, se acoplaron dos boquillas para manguera de 3/8 plg. La conexión se la realizó con mangueras de alta presión directamente de la toma superior del tanque de acumulación al filtro. El caudalímetro posee una pantalla con lectura analógica en la cual se observa el caudal que esta pasando.



**Figura 5.16 Pantalla analógica y boquillas p/mang.**

#### 5.1.4. PARTES ORIGINALES DEL PROTOTIPO.

Para tener una idea mas clara de las partes que no se han cambiado del prototipo a continuación se menciona las partes que siguen teniendo la misma función y que pertenecen a las partes originales del prototipo:

##### 5.1.4.1. MOTOR GSM 61/2000.

Un motor de dos tiempos GMS 61/2000. Debido a su cilindrada de 0,61cc, garantiza un bajo consumo de combustible y alta potencia en volumen reducido, característica de los motores de dos tiempos.

En el proyecto actual el motor de dos tiempos tiene como función calentar el biogás para que ingrese con una adecuada temperatura (350 °C) a la unidad de generación, su funcionamiento es secundario debido a que el motor de la unidad de generación es más grande en cilindrada. Sería conveniente usar una fuente de calor mayor que la que proporciona este motor. Con el motor GMS 61/2000 está incluido su tanque de combustible original con sus respectivas mangueras de neopreno y el galón de combustible al 15% (dato del fabricante).



Figura 5.17 Motor GMS 61/2000 dos tiempos.



Figura 5.18 Combustible al 15% y Tanque de combustible con mangueras de neopreno.

#### 5.1.4.2. DIFUSOR DE GAS.

El sistema de gas, marca *Marini*, es el más utilizado en el mercado, ya que su eficiencia es elevada. El sistema posee un difusor de gas, que para la presente aplicación, se adaptó un serpentín al tubo de escape para realizar la correcta difusión del gas metano. Este difusor de gas sirve para regular la cantidad de gas (caudal) y la presión a la que va a entrar al motor para su correcta mezcla aire-combustible, sirve conjuntamente con las electroválvulas para realizar el cambio automático de gasolina a gas.



Figura 5.19 Difusor de gas.

### 5.1.4.3. ELECTROVÁLVULAS.

Dispone de electroválvulas para realizar el cambio electrónico gasolina – gas metano, el prototipo cuenta con 3 electroválvulas las cuales están sincronizadas para su funcionamiento.



Figura 5.20 Electro válvula.

### 5.1.4.4. DOSIFICADOR DE ACEITE.

El prototipo cuenta con un dosificador de aceite para lubricación del motor. Cuando se realiza el cambio de gasolina a biogás también se absorbe gotas de aceite para lubricar el motor, el dosificador de aceite esta conectado por medio de una manguera de neopreno a la manguera principal de biogás y está a su vez a la entrada de aire del carburador y por medio de la absorción que realiza el motor ingresa la mezcla de aire-gas con gotas de aceite, esto es necesario ya que la combustión del gas es seca y necesita lubricación para que no dañe al pistón ni tampoco la cámara de combustión del motor.



Figura 5.21 Dosificador de aceite.

### 5.1.4.5. ACCESORIOS EXTRAS.

Como accesorios se usaron, una batería para el sistema eléctrico y un denominado “chispero” que mantiene a la bujía cargada para el encendido inicial del motor GSM 61/2000.



Figura 5.22 chispero y Batería.

## 5.2. REGISTRO DE CARGA

Con el fin de verificar la cantidad de gas generada se pesó la carga de desechos orgánicos introducidos en el tanque biodigestor, se registró la fecha de ingreso al tanque así como también el tipo de carga orgánica introducida, en la Tabla 5.1., se resume los datos registrados.

Tabla 5.1 Registro de carga.

Fecha	Carga	Peso
06/06/06	Cáscaras de papa, nabo zanahoria y verduras	90 kg.
07/06/06	Desechos de frutas y cáscaras de huevo	80 kg.
08/06/06	Desechos o sobras de comida	90 kg.
09/06/06	Suelos	80 kg
09/06/06	Agua	120 kg.
	TOTAL	460 kg.



**Figura 5.23 Carga de materia orgánica**

En la figura 5.18 se observan los desechos orgánicos mezclados con los suelos y el agua en el interior del tanque biodigestor antes de cerrarlo herméticamente para que se realice la biodegradación de la basura orgánica.



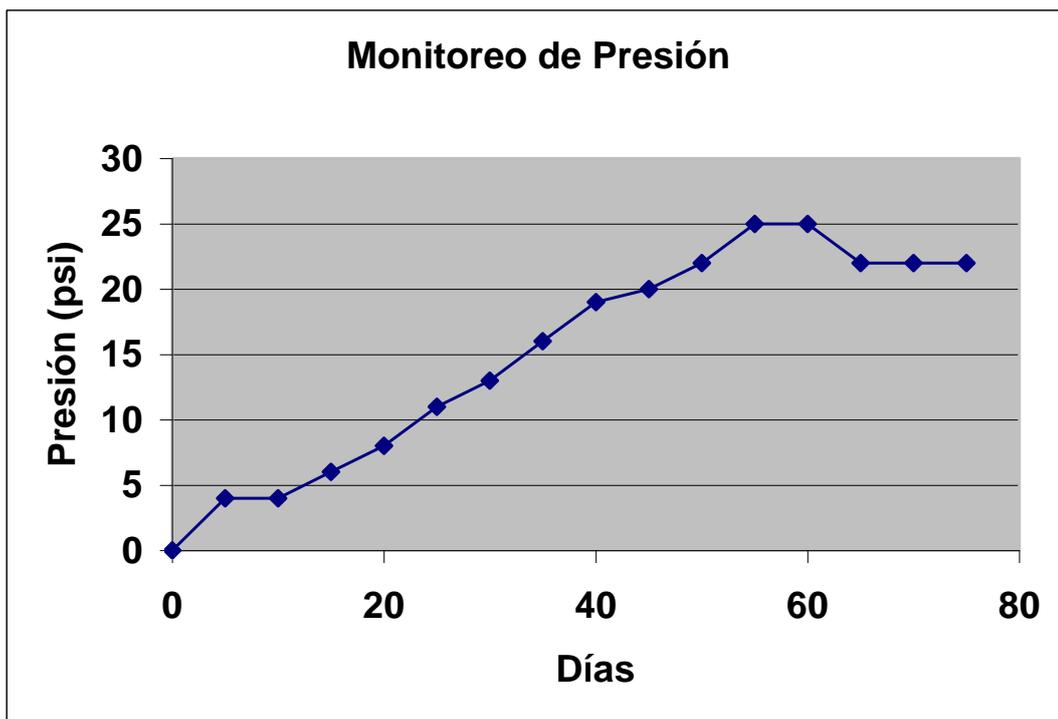
**Figura 5.24 Desechos orgánicos en el tanque**

### 5.3. DATOS DE PRESIÓN EN LOS TANQUES

Para cuantificar el proceso de descomposición de los desechos orgánicos, se monitorea la temperatura, y la presión cada cinco días a una misma hora, los datos registrados se resumen a continuación:

*Tabla 5.2 Datos de presión y temperatura*

<b>Días</b>	<b>Hora AM</b>	<b>Temperatura Interna °C</b>	<b>Presión Psi</b>
0	10:00	30	0
5	10:00	37	4
10	10:00	38	4
15	10:00	39	6
20	10:00	38	8
25	10:00	37	11
30	10:00	39	13
35	10:00	37	16
40	10:00	37	19
45	10:00	38	20
50	10:00	37	22
55	10:00	38	25
60	10:00	37	25
65	10:00	36	22
70	10:00	38	22
75	10:00	37	22



*Figura 5.25 Monitoreo de presión*

El monitoreo de presión se realizó por 75 días (dos meses y medio), en la Figura 5.19 se puede ver el aumento de presión en el transcurso de los días. Se observa que entre el quinto y décimo días la presión se mantuvo constante. Una pequeña fuga que existió en la unión de la tapa de la brida debido a un pequeño hueco en el empaque hizo que la presión en esos cinco días no aumentara. La fuga fue sellada y la experimentación continuó. Notar que luego de este inconveniente la presión fue incrementándose paulatinamente.

Se puede observar también que en el día 60 la presión alcanza su mayor valor, estabilizándose en el transcurso de los demás días en 22 psi., hasta el momento de su descarga. Se cree que debido a la presión, temperatura y pH las bacterias que descomponen la materia orgánica, especialmente las metanogénicas, fueron muriendo provocando que la producción de biogás se detenga y consecuentemente no haya incremento en la presión y se estabilice en los 22 psi.



*Figura 5.26 Presión 22 psi (día 65)*



*Figura 5.27 Temperatura 36 °C (día 65)*

#### **5.4. INSTALACIÓN DE LA UNIDAD DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.**

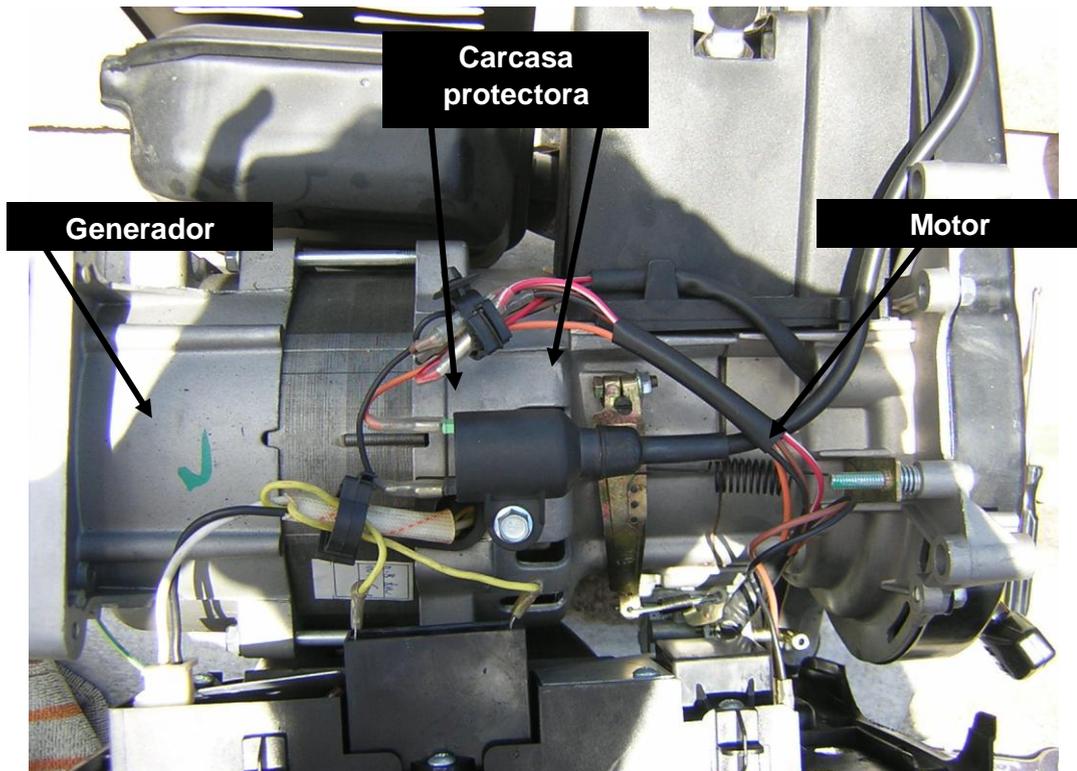
En el prototipo original existía un motor de dos tiempos GMS 2000 de 0.61 cm<sup>3</sup> el cual fue cambiado por una unidad de generación eléctrica (motor-generador) de marca MBM INTERNATIONAL, la cual va a permitir evidenciar la cantidad de electricidad que vamos a obtener combustionando el biogás.



**Figura 5.28 Unidad de generación MBM INTERNACIONAL**

El motor GMS 2000 fue cambiado debido a que el generador como tal no podía ser desacoplado del conjunto de generación (motor-generador) ya que estos dos vienen unidos de fábrica, por tal motivo el motor GMS 2000 fue relegado a cumplir una función secundaria dentro del funcionamiento del prototipo.

En la figura 5.29 se observa la unión motor-generador. La carcasa protectora solo permite ver la unión de los ejes tanto del generador como del motor. Para el mantenimiento al generador se puede desacoplar la carcasa inicial y para darle mantenimiento al motor se desacopla la carcasa final.



*Figura 5.29 Unión Motor-Generador*

### 5.4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD DE GENERACIÓN

La tabla 5.3 presenta las características técnicas de la unidad de generación (motor-generator) MBM INTERNACIONAL. (ver ANEXO E)

*Tabla 5.3 Características técnicas generador MBM INTERNACIONAL*

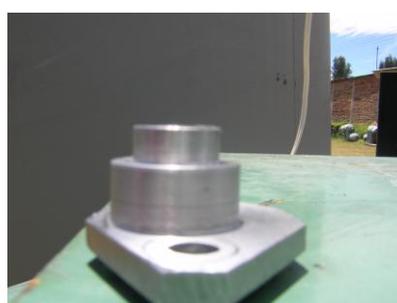
PRODUCTO	ITEM	MODELO ZSQF950
<b>GENERADOR</b>	Voltaje (V)	110-120
	Amperaje (A)	2.95
	kW de salida máxima (kW)	0.72
	kW de salida de trabajo (kW)	0.65
	Frecuencia (HZ)	50(60)
	Fase	1
	Regulador de voltaje	Capacitador compensador

**Continuación Tabla 5.3**

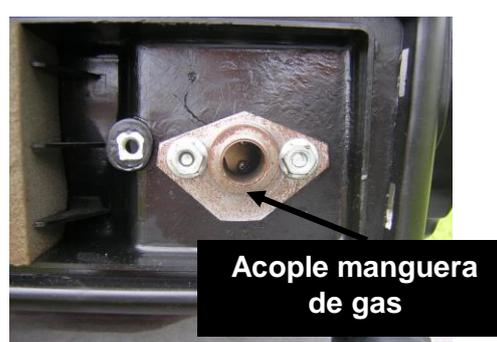
<b>MOTOR</b>	Compresión	7.4:1
	Máximo poder de salida HP (kW/RPM)	3 (2.19/5600)
	Sistema de encendido	Serpentina
	Sistema de ignición	CDI
	Capacidad de tanque de gasolina	4 litros
	Tipo de motor	Un cilindro, enfriado por aire, 2 tiempos

### 5.4.2. INSTALACIÓN DE LA UNIDAD DE GENERACIÓN

Para realizar el acople de la unidad de generación en el prototipo, se tuvo que efectuar una modificación en el entrada de aire del carburador. Para ello se diseñó un acople para la manguera que suministra el biogás. El acople va unido a la entrada de aire y permite que el biogás ingrese directamente hacia el carburador. (Ver ANEXO D)

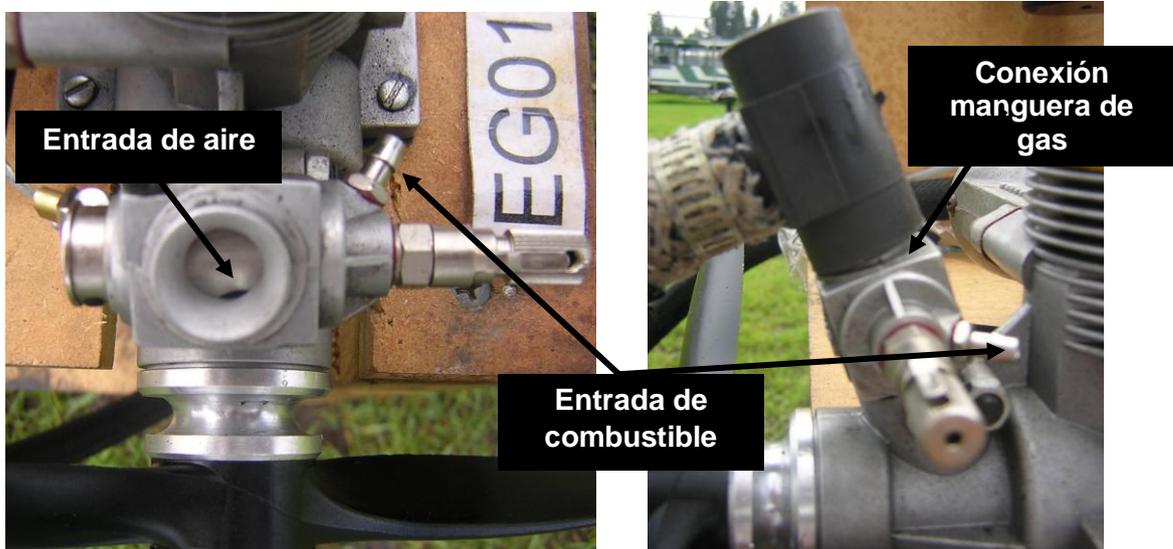


**Figura 5.30 Acople para manguera de gas**



**Figura 5.31 Instalación acople para manguera de gas**

El objetivo de este acople es simular el mismo funcionamiento que tenía el motor original, esto es, que el gas ingrese por la entrada de aire hacia el carburador. En las Fig. 5.32 y Fig. 5.33 se indican los cambios que se realizó.



*Figura 5.32 Conexión de la manguera de gas en el motor original.*



*Figura 5.33 Conexión de la manguera de gas en la unidad de generación*

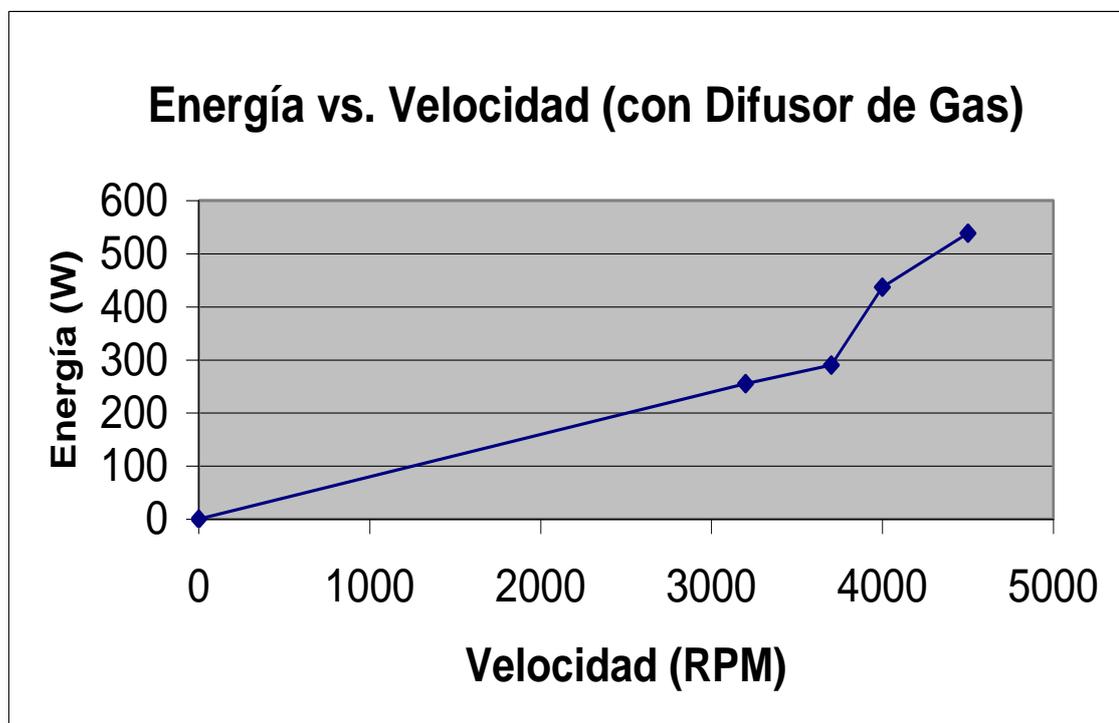
Con la instalación del acople y la manguera a la entrada de aire y la conexión de la manguera de combustible a la electroválvula se completa la instalación de la unidad de generación al prototipo.

## 5.5. INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE LAS RPM EN LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD.

Uno de los factores más relevantes en la producción de electricidad es la variación de la velocidad (RPM) del motor de la unidad de generación. La variación en RPMs permite obtener diferentes valores de energía a diferentes velocidades, sin variar los demás parámetros como caudal, presión o temperatura. Los resultados de esta prueba se indican en la Tabla 5.4.

**Tabla 5.4 Resultados de voltaje y amperaje a diferentes velocidades del prototipo**

Válvula (%)	Acelerador (%)	Velocidad (RPM)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	cos (φ)	Energía (W)
0	0	0	0	0	0	0
100	25	3200	91	1,8	0,9	255,34
100	50	3700	93	2	0,9	289,95
100	75	4000	100	2,8	0,9	436,48
100	100	4500	108	3,2	0,9	538,74



**Figura 5.34 Grafico Energía vs. Velocidad (con difusor de gas)**

Con esta prueba se ha comprobado que la energía se incrementa a medida que se aumenta la velocidad. Este ensayo sirve para explicar que la energía de

salida no depende de otro factor como caudal o presión y tampoco depende del difusor de gas.

En la Fig. 5.34 se observa que la máxima cantidad de energía se obtiene con la válvula de salida del gas abierta al 100% y manteniendo abierta al 100% la entrada de la mezcla aire-combustible (mediante el acelerador).

## 5.6. ENERGÍA ELÉCTRICA OBTENIDA.

Teniendo en cuenta la cantidad de materia orgánica depositada en el tanque biodigestor de 460 kg., que ocupa un volumen de 600 L y que el 30%<sup>35</sup> de la materia orgánica queda como lodos inertes (138 kg.) que ocupa un volumen de 180 L, esto produjo un volumen de biogás que se estima a continuación, se obtuvieron varios valores de energía de salida.

La cantidad de gas obtenida se calculó con la ecuación general de los gases ideales.

$$P * V = n * R * T$$

$$\frac{22 \text{ psi}}{14.7 \text{ psi/atm}} * (600 - 180) \text{ L} = n * 0.082 \frac{\text{atm} * \text{L}}{\text{mol} * \text{K}} * 310 \text{ } ^\circ \text{K}$$

$$n = 24.727 \text{ moles}$$

$$n = \frac{m}{PM}$$

$$m = n * 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$m = 692.37 \text{ g}$$

Tomando como base las pruebas realizadas de Energía vs. Caudal, Energía vs. Presión y Energía vs. Velocidad y seleccionando en cada prueba las mejores condiciones de funcionamiento, esto es, 100% de válvula de salida de biogás y 100 % de apertura de la entrada de aire hacia el motor se obtiene los siguientes valores de energía útil:

<sup>35</sup> [http://www.energie-umwelt.de/Biogas/BG\\_reg-es.htm](http://www.energie-umwelt.de/Biogas/BG_reg-es.htm)

**Tabla 5.6 Energía eléctrica obtenida**

<b>Energía</b>	
<b>(W)</b>	
	491,04
	502,57
	538,74
<b>Promedio</b>	<b>510,78</b>

De la Tabla 5.6 se observa que la cantidad de energía eléctrica obtenida en promedio es aproximadamente 511 W. De acuerdo a las especificaciones de la unidad de generación, la máxima capacidad de generación es 650 W, de manera que usando el biogás como combustible se obtiene alrededor de un 79 % de su máxima capacidad de generación.

### **5.7. EXTRAPOLACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA EN LA CIUDAD DE QUITO, USANDO LA BASURA ORGÁNICA A PARTIR DE DATOS DEL PROTOTIPO.**

Según los datos proporcionados por QUITO LIMPIO Y EMASEO (tablas 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6) la ciudad de Quito genera 1500 ton /día de basura de las cuales solo 900 ton/día corresponden a materia orgánica.

A fin de comprobar la posibilidad de generar electricidad mediante la biodegradación de la basura, se extrapolan los resultados obtenidos con el prototipo descrito anteriormente a una unidad de generación que utiliza turbinas de gas. El prototipo tiene las siguientes características.

- Generación de electricidad obtenida por el prototipo 511 W.
- Carga de materia orgánica 460 kg, de los cuales un 30%<sup>36</sup> no es biodegradable de manera que 138 kg son lodos inertes.
- Filtro de separación para realizar la limpieza del biogás.
- Volumen de acumulador 1000 L.

<sup>36</sup> [http://www.energie-umwelt.de/Biogas/BG\\_reg-es.htm](http://www.energie-umwelt.de/Biogas/BG_reg-es.htm)

- El motor de combustión interna posee una eficiencia cercana al 28%, mientras la turbina de gas el 36%.
- Luego de la limpieza, el biogás utilizado tiene aproximadamente 85% de metano, por lo que, el poder calórico igualmente mejora.
- Con estos datos la potencia de la planta es aproximadamente de:

$$\frac{900000kg/dia * 36\%}{(460 - 138)kg/dia * 28\% * 0.85} * 0.511kW = 2160.39 kW.$$

Notar que con esta extrapolación elemental se obtiene una energía de salida de 2160.39 kW, consecuentemente es factible generar aproximadamente 3 MW con los desechos sólidos urbanos del Distrito Metropolitano.

# CAPITULO VI

## 6. PRUEBAS DEL PROTOTIPO

### 6.1. DEFINICIÓN DE VARIABLES.

Para comprobar la validez del prototipo se condujeron las siguientes pruebas. Los resultados obtenidos de ellas permitirán estimar la cantidad de energía generada por el prototipo:

- Energía vs. Caudal
- Energía vs. Presión
- Energía vs. RPM

El caudal se varía mediante la válvula de salida de gas del tanque de acumulación. Los porcentajes de apertura de la válvula a utilizarse fueron, 25%, 50%, 75% y 100%, estos posicionamientos proporcionan diferentes caudales de biogás, manteniendo siempre un rango de presión de trabajo desde 20 a 30 psi.

La presión se varía igualmente mediante la válvula del tanque de acumulación. Para este ensayo la válvula se mantiene 100% abierta lo que permite tener un caudal aproximadamente constante. Los valores de presión de trabajo fueron 20, 15, 10, y 5 psi.

La velocidad de rotación (RPM) se varió mediante el acelerador que dispone la unidad de generación. Los porcentajes de aceleración fueron 25%, 50% 75% y 100%. La posición del acelerador regula la cantidad de mezcla aire-combustible, que entra al carburador del motor de la unidad, manteniendo siempre el 100% abierta la válvula de salida de gas y con un rango de presión de trabajo entre 10 a 20 psi.

## 6.2. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.

Para tener un significativo grado de confiabilidad en las pruebas, se procedió a tomar 3 mediciones por cada ensayo. Con los resultados obtenidos se estimó su promedio y se procedió a realizar los cálculos pertinentes. Los resultados de los ensayos se incluyen en las siguientes tablas.

- Energía vs. Caudal (sin difusor de gas)

**Tabla 6.1 Datos Energía vs Caudal sin difusor (3 mediciones)**

Energía vs. Caudal (Sin Difusor de Gas)						
Válvula	Acelerador		Medición #1	Medición #2	Medición #3	Promedio
25%	100%	(V)	97	96	95	96
		(A)	3,5	2,5	3	3
		Caudal	0,237	0,234	0,231	0,234
50%	100%	(V)	0	0	0	0
		(A)	0	0	0	0
		Caudal	0,382	0,384	0,386	0,384
75%	100%	(V)	0	0	0	0
		(A)	0	0	0	0
		Caudal	0,63	0,62	0,61	0,62
100%	100%	(V)	0	0	0	0
		(A)	0	0	0	0
		Caudal	0,852	0,858	0,846	0,852

- Energía vs. Caudal (Con Difusor de Gas)

**Tabla 6.2 Datos Energía vs. Caudal (3 mediciones)**

Energía vs. Caudal (Con Difusor de Gas)						
Válvula	Acelerador		Medición #1	Medición #2	Medición #3	Promedio
25%	100%	(V)	104	106	102	104
		(A)	3	2,8	2,6	2,8
		Caudal	0,232	0,24	0,224	0,232
50%	100%	(V)	105	102	99	102
		(A)	3	2,8	3,2	3
		Caudal	0,382	0,394	0,388	0,388
75%	100%	(V)	105	103	101	103
		(A)	2,8	3,1	2,5	2,8
		Caudal	0,625	0,62	0,63	0,625
100%	100%	(V)	105	104	106	105
		(A)	3,2	2,8	3	3
		Caudal	0,85	0,854	0,846	0,85

- Energía vs. Presión (Con Difusor de Gas)

**Tabla 6.3 Datos Energía vs. Presión (3 mediciones)**

<b>Energía vs. Presión (Con Difusor de Gas)</b>							
<b>Vál.</b>	<b>Acel.</b>	<b>Presión</b>		<b>Medición #1</b>	<b>Medición #2</b>	<b>Medición #3</b>	<b>Promedio</b>
100%	100%	5 psi	<b>(V)</b>	105	108	102	<b>105</b>
			<b>(A)</b>	3,1	3	2,9	<b>3</b>
100%	100%	10 psi	<b>(V)</b>	106	102	104	<b>104</b>
			<b>(A)</b>	3,3	2,9	3,1	<b>3,1</b>
100%	100%	15 psi	<b>(V)</b>	100	104	102	<b>102</b>
			<b>(A)</b>	3	3,2	3,4	<b>3,2</b>
100%	100%	20 psi	<b>(V)</b>	105	104	106	<b>105</b>
			<b>(A)</b>	2,9	3,3	3,1	<b>3,1</b>

- Energía vs. Velocidad (Con Difusor de Gas)

**Tabla 6.4 Datos Energía vs. Velocidad (3 mediciones)**

<b>Energía vs. Velocidad (Sin Difusor de Gas)</b>						
<b>Válvula</b>	<b>Acelerador</b>		<b>Medición #1</b>	<b>Medición #2</b>	<b>Medición #3</b>	<b>Promedio</b>
100%	25%	<b>(V)</b>	91	89	93	<b>91</b>
		<b>(A)</b>	2	1,6	1,8	<b>1,8</b>
		<b>Velocidad</b>	3100	3200	3300	<b>3200</b>
100%	50%	<b>(V)</b>	93	95	91	<b>93</b>
		<b>(A)</b>	2	1,8	2,2	<b>2</b>
		<b>Velocidad</b>	3700	3900	3500	<b>3700</b>
100%	75%	<b>(V)</b>	102	100	98	<b>100</b>
		<b>(A)</b>	2,5	2,8	3,1	<b>2,8</b>
		<b>Velocidad</b>	4200	3800	4000	<b>4000</b>
100%	100%	<b>(V)</b>	108	110	106	<b>108</b>
		<b>(A)</b>	2,9	3,5	3,2	<b>3,2</b>
		<b>Velocidad</b>	4200	4800	4500	<b>4500</b>

### **6.2.1. ENERGÍA VS. CAUDAL (SIN DIFUSOR DE GAS).**

Para realizar esta prueba se desconectó el difusor de gas con el objetivo de determinar la incidencia del funcionamiento del difusor en el prototipo. Resultados del ensayo se incluyen en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5 Resultados Energía vs. Caudal (sin difusor de gas)<sup>37</sup>

Válvula	Caudal	Voltaje	Intensidad	cos (ϕ)	Energía
(%)	(m <sup>3</sup> /min)	(V)	(A)		(W)
0	0	0	0	0,9	0
25	0,234	96	3	0,9	448,95
50	0,384	0	0	0,9	0
75	0,62	0	0	0,9	0
100	0,852	0	0	0,9	0

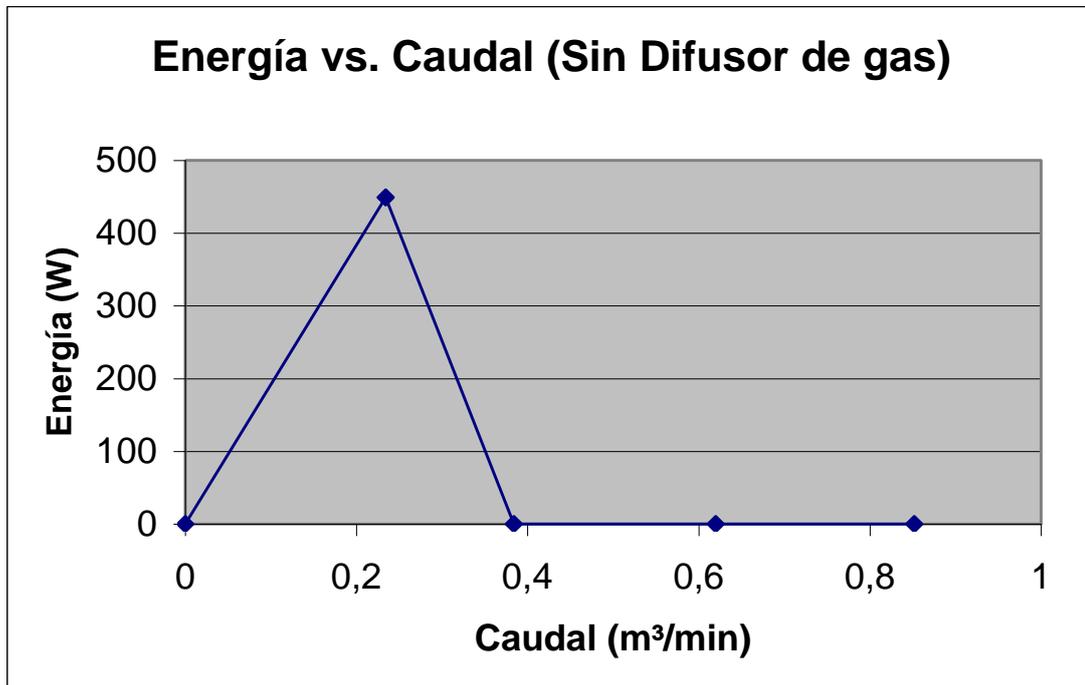


Figura 6.1 Grafico Energía vs. Caudal

## Ejemplo de Cálculo

– Energía Obtenida

$$Energía = \sqrt{3} * V * I * \cos(\phi) \quad ^{38}$$

$$Energía = \sqrt{3} * 96 * 3 * 0.9$$

$$Energía = 448.95 \quad W$$

<sup>37</sup> Cos(ϕ)=Factor de potencia proporcionado por la maquina (Unidad de Generación)

<sup>38</sup> Manual de uso racional y eficiente de la Energía Eléctrica, Ministerio de Energía y Minas

– Tiempo de Retención

$$T = \frac{\text{Volumen del Filtro}}{\text{Caudal}}$$

$$T = \frac{0.004 \text{ m}^3}{0.234 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}}$$

$$T = 0.0170940 \text{ min}$$

$$T = 1.025 \text{ segundos}$$

En la figura 6.1 Energía vs. Caudal se puede observar solo un valor de energía de salida fue generado como resultado de este ensayo y se lo obtuvo cuando la válvula se encuentra a 25% de apertura. El resto de posiciones de la válvula no generan energía útil. Este comportamiento del motor se debe principalmente a que en los demás porcentajes de apertura de la válvula, se tiene un exceso de caudal de gas. El exceso de gas no permite una mezcla aire-combustible adecuada, ocasionando consecuentemente el ahogamiento y apagado del motor.

El biogás utilizado en esta prueba tiene un tiempo de retención muy corto por lo que el filtro de carbón activado no realizaría la separación del bióxido de carbono en forma adecuada.

Con este ensayo se comprueba que la función del difusor de gas, es la de regular el caudal y la presión del biogás que va ser suministrado al motor para que la mezcla aire-gas sea correcta. El difusor consecuentemente tiene que estar siempre conectado sin importar el caudal y presión del gas a la salida del tanque de acumulación.

Una vez verificada la función del difusor se procedió a realizar el resto de pruebas con el difusor de gas conectado. Antes de proceder a realizar las demás pruebas, se llevó a cabo la medición del caudal de gas que suministra el difusor al motor. Resultados de varias mediciones a 22 psi de presión se incluyen en la tabla 6.6.

**Tabla 6.6 Caudal del difusor de gas**

<b>Prueba No.</b>	<b>Caudal Difusor de gas</b>
	<b>m<sup>3</sup>/min</b>
1	0.012
2	0.006
3	0.006
4	0.012
5	0.012
<b>Promedio</b>	<b>0.010</b>

En la tabla 6.6 se incluye además el promedio del caudal medido, este último valor fue usado para cuantificar el tiempo de retención, el mismo que fue fijado en el resto de pruebas.

– Tiempo de Retención.

$$\text{Volumen del filtro} = 0.004 \text{ m}^3$$

$$T1 = \frac{\text{Volumen del Filtro}}{\text{Caudal del difusor de gas}}$$

$$T1 = 0.4 \text{ min}$$

$$T1 = 24 \text{ segundos}$$

El tiempo de 24 segundos no es el tiempo de retención real, ya que no se toma en cuenta la porosidad del carbón activado. Entonces, el tiempo de retención real se calcula utilizando la porosidad de la tabla 4.1; dando los siguientes resultados:

*Caudal*

$$Q = 0.010 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Area Sección Transversal

$$A = \pi * (R^2 - r^2)$$

$$A = \pi * (0.1143^2 - 0.1023^2)$$

$$A = 0.008165 \text{ m}^2$$

*Velocidad Superficial*

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.010 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}}{0.008165 \text{ m}^2}$$

$$V = 1.225 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Porosidad del Carbon Activado (Tabla 4.1)

$$\phi = 0.40$$

*Velocidad en el poro*

$$V_p = \frac{V}{\phi}$$

$$V_p = \frac{1.225 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{0.40}$$

$$V_p = 3.0625 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 0.051 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

*Altura del Filtro*

$$H = 0.56 \text{ m}$$

Tiempo de Retención Real

$$T2 = \frac{H}{Vp}$$

$$T2 = \frac{0.56 \text{ m}}{0.051 \frac{\text{m}}{\text{seg}}}$$

$$T2 = 10.98 \text{ seg} \approx 11 \text{ seg}$$

### 6.2.2. ENERGÍA VS. CAUDAL (CON DIFUSOR DE GAS).

Para realizar esta prueba se conectó el difusor de gas y se mantuvo la presión en un rango de 20 a 30 psi y el acelerador del motor al 100% de apertura, dando los siguientes resultados:

**Tabla 6.7 Resultados Energía vs. Caudal (con difusor de gas)<sup>39</sup>**

Válvula (%)	Caudal (m <sup>3</sup> /min)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	cos (ϕ)	Energía (W)
0	0	0	0	0,9	0
25	0,232	104	2,8	0,9	453,94
50	0,388	102	3	0,9	477,01
75	0,625	103	2,8	0,9	449,57
100	0,85	105	3	0,9	491,04

Notar que el caudal de la Tabla 6.7 es un caudal referencial, y los cálculos están realizados con el caudal del difusor de gas (0.010 m<sup>3</sup>/min)

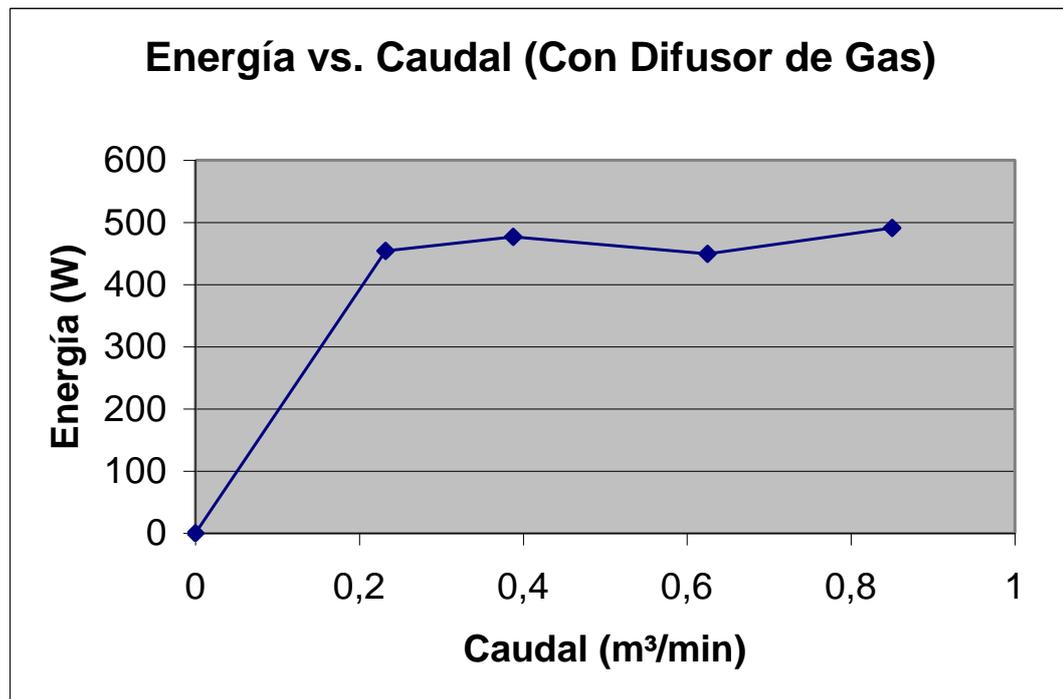
## Ejemplo de Cálculo

– Energía Obtenida

$$Energía = \sqrt{3} * V * I * \cos(\phi) \text{ }^{40}$$

$$Energía = \sqrt{3} * 105 * 3.0 * 0.9$$

$$Energía = 491.04 \text{ W}$$



*Figura 6.2 Grafico Energía vs. Caudal (con difusor de gas)*

En la figura 6.2 se puede observar que a pesar de tener una variación en el caudal a la salida del tanque de acumulación, se obtiene una cantidad de energía igual, esto se debe a que el difusor de gas suministra una cantidad casi siempre constante de caudal hacia el motor.

<sup>39</sup>  $\cos(\phi)$ =Factor de potencia proporcionado por la maquina (Unidad de Generación)

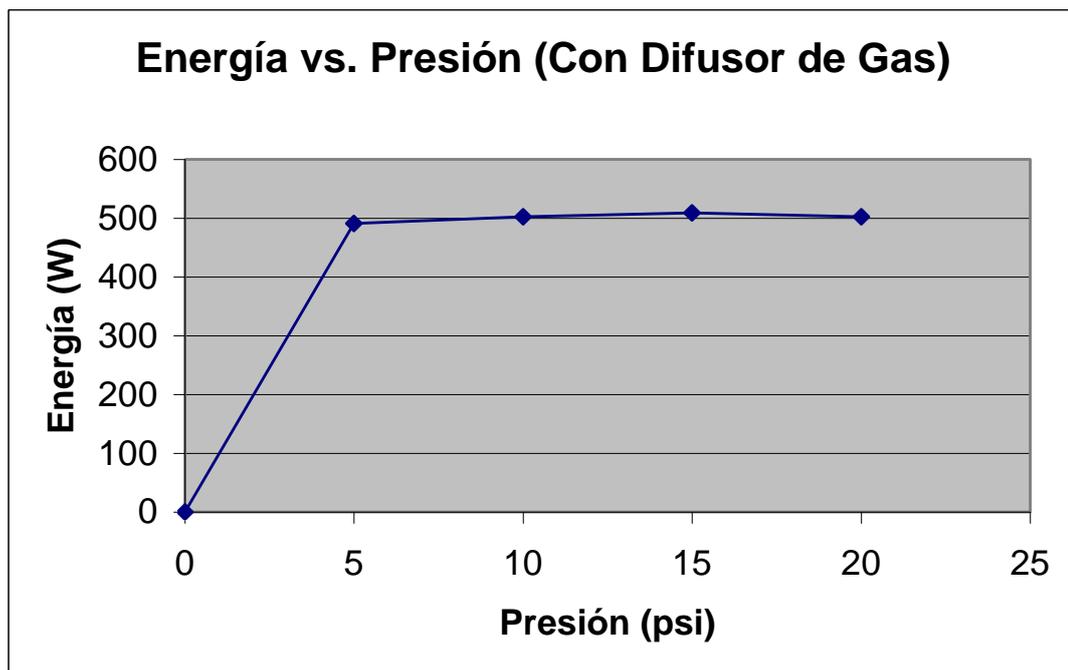
<sup>40</sup> Manual de uso racional y eficiente de la Energía Eléctrica, Ministerio de Energía y Minas

### 6.2.3. ENERGÍA VS. PRESIÓN (CON DIFUSOR DE GAS).

Para realizar esta prueba se conectó el difusor de gas y se mantuvo la válvula de salida de gas del tanque de acumulación al 100% y el acelerador del motor al 100% de apertura. En la tabla 6.8 se incluyen los resultados de esta prueba:

*Tabla 6.8 Resultados Energía vs. Presión<sup>41</sup>*

Válvula	Presión	Voltaje	Intensidad	cos ( $\phi$ )	Energía
%	(psi)	(V)	(A)		(W)
0	0	0	0	0	0
100	5	105	3	0,9	491,04
100	10	104	3,1	0,9	502,57
100	15	102	3,2	0,9	508,81
100	20	104	3,1	0,9	502,57



*Figura 6.3 Grafico Energía vs. Presión (con difusor de gas)*

En la figura 6.3 se puede observar que a pesar de tener una variación en la presión de la salida del gas, se obtiene una cantidad de energía igual con una

<sup>41</sup> Cos( $\phi$ )=Factor de potencia proporcionado por la maquina (Unidad de Generación)

variación muy pequeña de presión. Igual que en la sección anterior el difusor de gas alimenta el motor con una presión y caudal siempre constantes.

Notar que los resultados de estas dos últimas pruebas son muy parecidos y no importa el caudal ni la presión que tenga el gas porque en la mayoría de veces el difusor de gas enviará el mismo caudal y presión hacia el motor para que exista una correcta mezcla aire-combustible. Por otro lado, con estas pruebas comprueba que el difusor de gas regula la cantidad de gas que se alimenta al motor que es muy parecido a los reguladores de gas que se utiliza normalmente en las cocinas sin este aparato sería muy difícil generar energía.

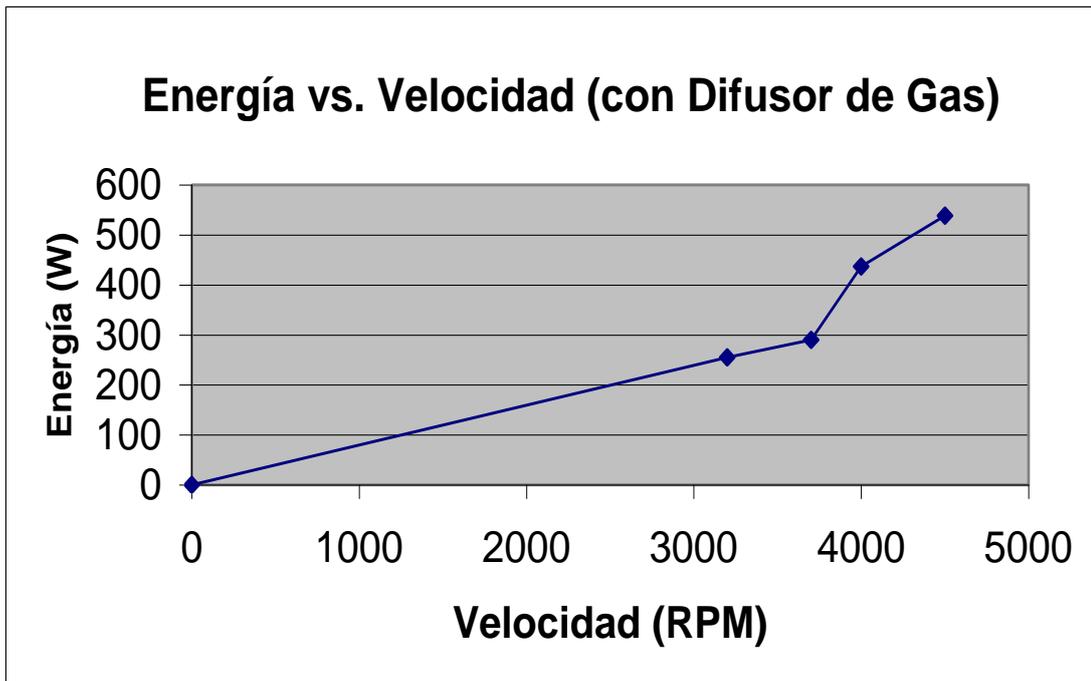
#### 6.2.4. ENERGÍA VS. VELOCIDAD (CON DIFUSOR DE GAS).

Para realizar esta prueba se conectó el difusor de gas y se mantuvo la válvula de salida de gas del tanque de acumulación al 100% de apertura. En la tabla 6.9 a continuación se detalla los resultados:

*Tabla 6.9 Resultados Energía vs. Velocidad<sup>42</sup>*

Válvula (%)	Acelerador (%)	Velocidad (RPM)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	cos (ø)	Energía (W)
0	0	0	0	0	0	0
100	25	3200	91	1,8	0,9	255,34
100	50	3700	93	2	0,9	289,95
100	75	4000	100	2,8	0,9	436,48
100	100	4500	108	3,2	0,9	538,74

<sup>42</sup> Cos(ø)=Factor de potencia proporcionado por la maquina (Unidad de Generación)



*Figura 6.4 Grafico Energía vs. Velocidad (con difusor de gas)*

En la figura 6.4 se observa que la variación de energía es considerable cada vez que se incrementa la apertura del acelerador, entonces a mayor aceleración mayor cantidad de energía producida. Cabe recalcar sin embargo que a menos de 3000 RPM el motor sigue funcionando pero no hay la suficiente fuerza para generar y producir energía.

Notar que en todas las pruebas la energía generada, es alrededor de los 500 W, lo cual es lógico debido a que todos los resultados de las pruebas han sido realizados bajo los mismos parámetros de funcionamiento: 100% de apertura de la válvula de salida de gas y 100% de apertura de entrada de mezcla (acelerador).

## 6.3. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO.

### 6.3.1. TRABAJO ÚTIL (TEÓRICO)

Para el trabajo útil se calculará el calor de entrada y salida, para ello se necesita el caudal y el poder calorífico. Resultado de este cálculo es el siguiente:

*Caudal*

$$Q = 0.010 \frac{m^3}{min}$$

*Poder Calorífico Promedio entre el biogás y el metano*

$$P_{\text{calorífico}} = 7452.5 \frac{kcal}{m^3}$$

*Energía de Entrada*

$$E_{\text{entrada}} = Q * P_{\text{calorífico}}$$

$$E_{\text{entrada}} = 0.010 \frac{m^3}{min} * 7452 \frac{kcal}{m^3} * 4186.8 \frac{J}{kcal} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$E_{\text{entrada}} = 5200 \text{ W}$$

*Energía de Salida*

$$E_{\text{Salida}} = V * I$$

$$E_{\text{Salida}} = 108 \text{ V} * 3.2 \text{ A}$$

$$E_{\text{Salida}} = 345.6 \text{ W}$$

Trabajo Util Teórico

$$W = E_{\text{Entrada}} - E_{\text{Salida}}$$

$$W = (5200 - 345.6)W$$

$$W = 4854.4 \text{ W}$$

**Tabla 6.10 Trabajo Útil Teórico**

<b>E. Entrada (W)</b>	<b>E. Salida (W)</b>	<b>Trabajo Util (W)</b>
5200,35	315	4885,35
5200,35	322,4	4877,95
5200,35	345,6	4854,75
<b>Promedio</b>		<b>4872,69</b>

### 6.3.2. EFICIENCIA DEL SISTEMA

Con los resultados de energía de salida obtenidos en las pruebas se calcula la eficiencia que tiene el sistema tomando en cuenta el poder calorífico promedio entre el metano y el biogás, y el caudal que manda el difusor de gas. Resultados de este cálculo son los siguientes:

$$\text{Caudal} = 0.010 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

$$\text{Poder Calorífico promedio} = 7452.5 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3}$$

$$E_{\text{entrada}} = 7452.5 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3} * 0.010 \frac{\text{m}^3}{\text{in}} * 4186.8 \frac{\text{J}}{\text{Kcal}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$E_{\text{entrada}} = 5200 \text{ W}$$

$$E_{\text{salida}} = 538.74 \text{ W}$$

Tabla 5.6

$$\eta = \frac{E_{salida}}{E_{entrada}}$$

$$\eta = \frac{538.74 \text{ W}}{5200 \text{ W}} * 100\%$$

$$\eta = 10.36 \%$$

**Tabla 6.11 Eficiencia del sistema**

<b>EFICIENCIA DEL SISTEMA</b>				
<b>Caudal</b>	<b>P. Calorífico Promedio</b>	<b>E. Entrada</b>	<b>E. Salida</b>	<b>Eficiencia</b>
<b>(m3/min)</b>	<b>(kcal/m3)</b>	<b>(W)</b>	<b>(W)</b>	<b>%</b>
0,01	7452,5	5200,3545	491,04	9,44
0,01	7452,5	5200,3545	502,57	9,66
0,01	7452,5	5200,3545	538,74	10,36
<b>Promedio</b>				<b>9,82</b>

Notar que el cálculo de eficiencia se realizó tomando los datos en las mejores condiciones: 100% de apertura de válvula de gas y 100% de apertura del acelerador

Realizando una comparación con los resultados del proyecto de "Implementación de una Planta de Depuración y Cogeneración de Electricidad a Partir de Biogás en España"<sup>43</sup>, que tiene una eficiencia del sistema del 85%; con los resultados obtenidos en el presente proyecto se concluye que la eficiencia del sistema es 8 veces mayor a la obtenida, esto se debería a diferentes circunstancias como por ejemplo el tipo de materia orgánica utilizada, falta de control de pH, falta de control de temperatura, falta de control de nutrientes y el tipo de unidad de generación de electricidad utilizado.

<sup>43</sup><http://apuntes.rincondelvago.com/planta-de-depuracion-y-cogeneracion-a-partir-de-biogas.html>

De los resultados de **energía** obtenidos en las pruebas realizadas, se puede concluir que son satisfactorias teniendo en cuenta el tamaño del prototipo, los recursos económicos y tecnológicos limitados que se tuvieron para el proyecto.

## **CAPITULO VII**

### **7. ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO**

#### **7.1. ANÁLISIS ECONÓMICO**

##### **7.1.1. ESTUDIO DE MERCADO**

Con la preparación de este proyecto de tesis se busca demostrar la viabilidad de invertir en una determinada actividad económica en este caso en particular en la generación de electricidad utilizando la materia orgánica que diariamente se produce en la ciudad de Quito.

Con este estudio no se pretende eliminar este riesgo implícito, pero si cuantificar cuán grande o pequeño es el riesgo y hasta cierto punto tratar de minimizarlo.

##### **7.1.2. ESTUDIO TÉCNICO**

El estudio técnico analizará la posibilidad de utilizar la basura de la ciudad de Quito en función de un adecuado diseño del sistema de generación para una producción óptima de electricidad con la utilización eficiente y eficaz de los recursos disponibles en el medio local.

##### **7.1.3. ANÁLISIS DE COSTOS**

Con la finalidad de realizar el análisis de costos del proyecto en el presente estudio se valoraron Costo Directos, Costos indirectos, Gastos de administración e imprevistos.

### 7.1.3.1. COSTOS DIRECTOS

#### 7.1.3.1.1. MATERIALES Y EQUIPOS

La siguiente tabla permitirá elaborar el costo unitario teniendo en cuenta los materiales que contribuyen a formar parte del rediseño del prototipo:

*Tabla 7.1 Costos Directos*

<b>MATERIALES</b>	<b>CANT.</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Tanque 800 L	1	877.45	877.45
Tanque 200 L	1	295.37	295.37
Compresor Linkonn	1	125	125
Generador MBM	1	250	250
Carbón Activado	25	1.10	27.50
Caudalímetro	1	78.30	78.30
Filtro	1	80	80
Mangueras	4.5	2.20	9.90
Termómetro	1	42.41	42.41
Manómetro	2	10.69	21.38
Malla acero	1.5	22	11
Válvula	6	3.5	21
<b>COSTO TOTAL 1 (incluye 12 % I.V.A)</b>			<b>2060.03</b>

Los Costos Directos son los principales materiales para el rediseño del prototipo.

### 7.1.3.1.2. MANO DE OBRA DIRECTA

*Tabla 7.2 Remuneración a estudiantes*

Nombre	Cargo	Horas-H	USD	USD
			Valor H-H	Valor Total
Sr. Christian Rodríguez	Responsable del Proyecto	960	3	2880
			<b>TOTAL 2</b>	<b>2880</b>

### 7.1.3.2. COSTOS INDIRECTOS

#### 7.1.3.2.1. MATERIALES E INSUMOS

Los costos indirectos están integrados por la mano de obra indirecta, los materiales indirectos, los suministros, reparación y mantenimiento, como se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 7.3 Costos Indirectos*

COSTOS INDIRECTOS	CANT.	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Abrazaderas	10	0.30	3.00
Permatex	3	1.40	4.20
Teflón	3	0.15	0.45
Boquilla p/mang.	10	1.68	16.80
Reducciones	10	1.92	19.20
Materiales e Insumos			64.28
Asesoramiento	50	10.00	500.00
<b>COSTO TOTAL 3 (incluye 12% I.V.A.)</b>			<b>680.88</b>

### 7.1.3.2.2. HONORARIO A PROFESIONALES

*Tabla 7.4 Honorarios a Profesionales*

EMPRESA	Cargo	Horas-H	USD	USD
			Valor H-H	Valor Total
FIM-E	Ingenieros	80	12.50	1000
			<b>TOTAL 4</b>	<b>1000</b>

### 7.1.3.3. GASTOS ADMINISTRATIVOS E IMPREVISTOS

Los gastos administrativos tendrán un porcentaje del 15% del costo total descrito anteriormente mientras que por imprevisto se considerará un porcentaje del 10% del total de los gastos administrativos.

Los mismos que se resumen de la siguiente manera:

*Tabla 7.5 Costo Total del rediseño*

DESCRIPCIÓN	VALOR USD
Costos Directos	4940.03
Costo Indirecto	1680.88
<b>Costo Total</b>	<b>6620.91</b>
Gastos Administrativos (15% CTP)	993.14
<b>Subtotal</b>	<b>7614.05</b>
Imprevistos (10%)	99.31
<b>COSTO TOTAL REDISEÑO DEL PROTORIPO</b>	<b>7713.36</b>

## **7.2. ANÁLISIS FINANCIERO**

En el análisis de rentabilidad de plantas de generación eléctrica se debe considerar que éstas permiten reducir los problemas generados en cuanto a generación eléctrica que hoy en día atraviesa el país.

En el mercado de los energéticos, la planta como productora de metano, permite la generación de electricidad, sustituyendo la dependencia de la gasolina o el diesel, como combustibles para motores de generación eléctrica en plantas.

En el mercado de los abonos, la planta generadora de electricidad también es una potencial productora de bio-fertilizante al que se conoce como “compost”, el cual puede competir con el estiércol fresco y con los fertilizantes químicos, ya que posee características no contaminantes y cuya comercialización mejoraría la rentabilidad del proyecto.

Finalmente, en el mercado del tratamiento de desechos contaminantes, la planta puede imponerse sobre los sistemas de tratamiento aeróbicos tradicionales disminuyendo la contaminación y eliminando en un 50% los rellenos sanitarios.

Lo anterior, permite afirmar que la tecnología con energías renovables podrían contribuir con la demanda energética del país, no sólo técnicamente sino económicamente y disminuir la dependencia de la generación tradicional.

### **7.2.1. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD**

Para el cálculo de rentabilidad de cualquier inversión, se procede a registrar todos los gastos e ingresos que surgen con respecto a la inversión planeada.

Los gastos que deben registrarse son:

- Costos de construcción (materiales, mano de obra, etc.)
- Costos de operación y mantenimiento.

En el momento de determinar los beneficios, el principal problema se presenta al tratar de cuantificar en términos monetarios.

Sin embargo para el presente caso se realizará una comparación entre el costo del kW-H generado en la planta a US\$ 0.05 frente al de una tarifa media aplicada al consumidor final US\$ 0.1038 del kW-H.

Para los cálculos, se ha considerado una tasa de interés  $i = 16\%$  anual, y una tasa impositiva sobre la utilidad de  $12\%$  anual<sup>44</sup>.

El cálculo de los indicadores financieros, utiliza un FNC (flujo neto de caja) para los 10 años, tiempo en el que se estima la recuperación de la inversión. El Valor Actual Neto (VAN), y la tasa interna de retorno (TIR) son calculados en una hoja electrónica.

La hoja electrónica calcula el valor del VAN a partir de la fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum FNC_i$$

donde:

$I_0$ : Inversión inicial

$FNC_i$ :  $\Sigma$  Ingresos –  $\Sigma$  Egresos (para cada período)

El valor del TIR, se calcula a partir de la fórmula:

$$I_0 = \sum FNC_i$$

Manipulando algebraicamente la Ec. (6.2) se obtiene:

$$\sum FNC_i = \sum \frac{A}{(1+r)^n}$$

donde:

$A$ : Ingreso (+) ó Egreso (-)

$r$ : Tasa de actualización. Para calcular el VAN, se emplea la tasa de interés  $r = 16\%$  anual para este proyecto.

$n$ : # de período en el que se encuentra.

---

<sup>44</sup> La tasa de actualización citada es la que se emplea en préstamos en entidades financiera. Tanto la tasa de actualización como la tasa de interés pasiva son valores vigentes por la ley en el país, suministrados por el Banco Central del Ecuador actualización AGO-2004.

La idea del VAN es actualizar todos los flujos futuros al período inicial (cero), compararlos para verificar si los beneficios son mayores que los costos. Si los beneficios actualizados son mayores que los costos actualizados, significa que la rentabilidad del proyecto es mayor que la tasa de descuento, se dice por tanto, que “es conveniente invertir” en esa alternativa.

Ver las Tablas 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8, 7.9 y 7.10 donde se detalla el análisis de rentabilidad.

## 7.2.2. PLANTA DE GAS.

*Tabla 7.4 Planta generadora de gas.*

CODIGO	Descripción	Capacidad	Cantidad	P. unitario	Precio
<b>PLANTA GENERADORA DE GAS</b>					
G1	Banda trasportadora	20 ton/h	3	30000	90000
G2	Trituradora	13 ton/h	3	40000	120000
G3	Reactor anaeróbico flujo pistón ( 6x6x30 m)	1.5 ton/h	30	140000	4200000
G4	Tubería perforada ( captar gas)	306 Kg/h	30	2800	84000
G5	Separadores de gas	3060 Kg/h	3	700000	2100000
G6	Acumuladores de gas	125600 kg.patm	3	76000	228000
G7	Tubería de agua		1	3000	3000
G8	Bombas de agua		30	600	18000
G9	Bomba recirculación de lodo		30	1100	33000
<b>SUBTOTAL</b>					<b>6876000</b>

## 7.2.3. PLANTA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.

*Tabla 7.5 Planta generadora de electricidad*

<b>PLANTA GENERADORA DE ELECTRICIDAD</b>					
<b>TURBINA DE GAS</b>					
EG1	Compresor de gas (metano)	1750 Kg/h	2	2300	4600
EG2	Cámara de combustión (metano – aire)	36750 Kg/h	2	180000	360000
EG3	Compresor de aire	35000 Kg/h	2	5000	10000
EG4	Turbina de gas	5Mw	2	2800000	5600000
EG5	Generadores	5Mw	2	1100000	2200000
EG6	Tuberías de metano, aire y gas de combustión		1	20000	20000
<b>SUBTOTAL</b>					<b>8194600</b>

## 7.2.4. OTRAS INVERSIONES.

*Tabla 7.6 Otras inversiones*

CODIGO	Descripción	Unidad	Cantidad	P. unitario	Precio
<b>CONSTRUCCIÓN DE PLANTA</b>					
1	Limpieza y adecuación del terreno	m2	60000	0,5	30000
2	Infraestructura física	m2	800	1500	1200000
3	Equipos de oficina y laboratorio		3	35000	105000
4	Vehículos		3	17000	51000
<b>SUBTOTAL</b>					<b>1386000</b>

<b>TOTAL</b>	<b>16456600</b>
IMPREVISTOS 10%	1645660
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>19488260</b>

**Tabla 7.9 Vida Útil**

INVERSION	VALOR	VIDA UTIL	VALOR VENTA
Terreno			
Equipo y maquinaria	16456600	15	100000
Equipo de oficina	105000	10	500
Edificacion	1200000	40	60000
Vehiculos	51000	10	7000

Valor residual libro **0**

Vida util proyecto **10**

**Depreciación lineal**

Tasa impositiva sobre utl **0,12**

Financiamiento del 100% **0,16**

de la Inv. a 10 años

Costo unitario Kw = 0,05

Cantidad generada por año = 1er a 10 año

**7.2.5. RENTABILIDAD E ÍNDICES ECONÓMICOS.**

**Tabla 7.10 Cálculo de depreciación**

**CALCULO DEPRECIACION**

Costo variable Kw = 0,019

INVERSION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Equipo y maquinaria	1097106,67	1097106,67	1097106,67	1097106,67	1097106,67	1097106,67	1097106,67	1097106,67	1097106,67	1097106,67
Equipo de oficina	10500,00	10500,00	10500,00	10500,00	10500,00	10500,00	10500,00	10500,00	10500,00	10500,00
Edificacion	29999,75	29999,75	29999,75	29999,75	29999,75	29999,75	29999,75	29999,75	29999,75	29999,75
Vehiculos	5100,00	5100,00	5100,00	5100,00	5100,00	5100,00	5100,00	5100,00	5100,00	5100,00
TOTAL	1142706,42	1142706,42	1142706,417	1142706,417	1142706,417	1142706,42	1142706,417	1142706,417	1142706,417	1142706,417

$D = (I - Vr)/n$

**Tabla 7.11 Cálculo valor libros**

**CALCULO VALOR LIBROS**

INVERSION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Equipo y maquinaria	15359493,33	14262386,67	13165280,00	12068173,33	10971066,67	9873960,00	8776853,33	7679746,67	6582640,00	5485533,33
Equipo de oficina	94500,00	84000,00	73500,00	63000,00	52500,00	42000,00	31500,00	21000,00	10500,00	0,00
Edificacion	1170000,25	1140000,50	1110000,75	1080001,00	1050001,25	1020001,50	990001,75	960002,00	930002,25	900002,50
Vehiculos	45900,00	40800,00	35700,00	30600,00	25500,00	20400,00	15300,00	10200,00	5100,00	0,00

**Tabla 7.12 Cálculo servicio de la deuda**

**CALCULO SERVICIO DE LA DEUDA**

AÑO	DEUDA ANTERIOR	INTERES	CUOTA	AMORTIZ.	DEUDA ACTUAL
0					19488260
1	19488260,00	3118121,60	4032142,10	914020,50	18574239,50
2	18574239,50	2971878,32	4032142,10	1060263,78	17513975,72
3	17513975,72	2802236,11	4032142,10	1229905,99	16284069,73
4	16284069,73	2605451,16	4032142,10	1426690,94	14857378,79
5	14857378,79	2377180,61	4032142,10	1654961,50	13202417,29
6	13202417,29	2112386,77	4032142,10	1919755,33	11282661,96
7	11282661,96	1805225,91	4032142,10	2226916,19	9055745,77
8	9055745,77	1448919,32	4032142,10	2583222,78	6472522,99
9	6472522,99	1035603,68	4032142,10	2996538,42	3475984,57
10	3475984,57	556157,53	4032142,10	3475984,57	0,00

$$R = P(1+ip)^n * ip / ((1+ip)^n - 1)$$

Tabla 7.13 Ingresos y costos

**CALCULO DE PRECIOS , CANTIDAD INGRESOS Y COSTOS**

ANO	P PRECIO REAL\$	Q CANTIDAD kw	P*Q INGRESO OPERAC.	Cv*Q COSTO VARIABLE
1	0,05	219000000	10950000	4161000
2	0,05	222000000	11100000	4218000
3	0,05	229000000	11450000	4351000
4	0,05	300000000	15000000	5700000
5	0,05	310000000	15500000	5890000
6	0,05	340000000	17000000	6460000
7	0,05	400000000	20000000	7600000
8	0,05	420000000	21000000	7980000
9	0,05	450000000	22500000	8550000
10	0,05	500000000	25000000	9500000

Tabla 7.14 Utilidad fiscal e impuestos

**CALCULO DE LA UTILIDAD FISCAL E IMPUESTOS**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos operacionales	10950000	11100000	11450000	15000000	15500000	17000000	20000000	21000000	22500000	25000000
Utilidad venta terreno										3747,5
Utilidad venta planta fisica										500
Utilidad venta equ. Oficina										-32033,33
Utilidad venta Eq. Maq.										7000
<b>TOTAL UTILIDADES</b>	<b>10950000,00</b>	<b>11100000,00</b>	<b>11450000,00</b>	<b>15000000,00</b>	<b>15500000,00</b>	<b>17000000,00</b>	<b>20000000,00</b>	<b>21000000,00</b>	<b>22500000,00</b>	<b>24979214,17</b>
Costos fijos	135000,00	135000,00	135000,00	135000,00	135000,00	135000,00	135000,00	135000,00	135000,00	135000,00
Costos variables	4161000,00	4218000,00	4351000,00	5700000,00	5890000,00	6460000,00	7600000,00	7980000,00	8550000,00	9500000,00
Depreciación	1142706,42	1142706,42	1142706,42	1142706,42	1142706,42	1142706,42	1142706,42	1142706,42	1142706,42	1142706,42
Interes	3118121,60	2971878,32	2802236,11	2605451,16	2377180,61	2112386,77	1805225,91	1448919,32	1035603,68	556157,53
<b>TOTAL COSTOS</b>	<b>8556828,02</b>	<b>8467584,74</b>	<b>8430942,53</b>	<b>9583157,57</b>	<b>9544887,02</b>	<b>9850093,18</b>	<b>10682932,33</b>	<b>10706625,74</b>	<b>10863310,10</b>	<b>11333863,95</b>
<b>TOTAL</b>	<b>2393171,98</b>	<b>2632415,26</b>	<b>3019057,47</b>	<b>5416842,43</b>	<b>5955112,98</b>	<b>7149906,82</b>	<b>9317067,67</b>	<b>10293374,26</b>	<b>11636689,90</b>	<b>13645350,22</b>
Calculo impuestos	287180,64	315889,83	362286,90	650021,09	714613,56	857988,82	1118048,12	1235204,91	1396402,79	1637442,03

## 7.2.6. FLUJO DE CAJA

Tabla 7.13 Flujo de caja

### FLUJO DE CAJA

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>INVERSIONES</b>											
Terreno											
Equipo y maquinaria	16456600										-32033,33
Equipo de oficina	105000										500
Edificacion	1200000										3747,5
Vehiculos	51000										7000
<b>INGRESOS</b>											
operacionales		10950000,00	11100000,00	11450000,00	15000000,00	15500000,00	17000000,00	20000000,00	21000000,00	22500000,00	25000000
venta terreno											
venta planta fisica											
equ. Oficina											
venta Eq. Maq.											
venta Vehic.											
<b>COSTOS</b>											
Fijos		-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
Variables		-4161000,00	-4218000,00	-4351000,00	-5700000,00	-5890000,00	-6460000,00	-7600000,00	-7980000,00	8550000,00	-9500000
Impuestos		-287180,64	-315889,83	-362286,90	-650021,09	-714613,56	-857988,82	-1118048,12	-1235204,91	-1396402,79	-1637442,03
<b>PRESTAMOS</b>	19488260,00	-4032142,10	-4032142,10	-4032142,10	-4032142,10	-4032142,10	-4032142,10	-4032142,10	-4032142,10	-4032142,10	
<b>FLUJO NETO</b>	-17812600,00	2469677,21	2533968,02	2704570,95	4617836,76	4863244,29	5649869,03	7249809,73	7752652,94	25621455,06	13841772,1

<b>VAN =</b>	<b>\$ 9.995.266,90</b>
<b>TIR =</b>	<b>25%</b>

## **CAPITULO VIII**

### **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **8.1. CONCLUSIONES**

- El agotamiento de las reservas de energía no renovables, justifica la realización de proyectos de este tipo, donde se aprovecha la materia orgánica (basura) de los residuos sólidos urbanos con fines energéticos
- El aprovechamiento de la materia orgánica como una fracción de los residuos sólidos urbanos, persigue en el proyecto dos fines, por un lado obtener biogás y por otro lado permite dar soluciones a los problemas sanitarios producidos por la basura de la ciudad.
- Un conocimiento profundo del tratamiento microbiológico, es esencial para la optimización de proyectos que operen con sistemas de degradación biológica.
- Con la realización de las pruebas en el capítulo 6 se demostró que es posible obtener electricidad mediante la biodegradación de materia orgánica obteniendo buenos resultados los cuales nos permiten visualizar el funcionamiento que se le puede dar al biogás.
- Con los resultados de las pruebas se concluye que el difusor de gas es una pieza fundamental dentro del prototipo ya que este es el que regula la cantidad de gas y la presión que entrara en la cámara de combustión, sin este aparato existiría un exceso de combustible lo cual hace que el motor se ahogue y se apague.

- Durante el encendido de la unidad de generación hubo dificultad en el arranque, al tener un motor frío. Es necesario un precalentamiento del gas antes de que el gas entre a la cámara de combustión.
- Se pudo observar que con el biogás obtenido por medio del tanque biodigestor, al momento del encendido del motor las revoluciones descendían bruscamente, mientras que con el biogás obtenido en la planta de tratamiento de aguas residuales de la compañía Cervecería Andina, las revoluciones no varían mucho, teniendo en cuenta que la obtención de dicho gas tiene el mismo proceso de descomposición.
- El presente proyecto muestra la posibilidad de generar 3 [MW], con los desechos sólidos del Distrito Metropolitano de Quito. En la actualidad se producen 1297 ton, el transporte y la disposición final del mismo, cuesta dinero, esto se reduciría si las autoridades locales se decidieran a realizar el proyecto a gran escala.
- El costo del proyecto sería aproximadamente US\$ 20.000.000, de los 3MW que se pueden obtener, mediante la degradación de la basura. Con estos valores, la TIR del proyecto es de 25% lo cual es rentable a largo plazo dependiendo del uso que se lo quiera dar.

## **8.2. RECOMENDACIONES**

- Se deberá continuar la investigación para desarrollar análisis más específicos sobre las bacterias y análisis para mejorar y perfeccionar esta tecnología.
- Es necesario realizar una revisión periódica de las bridas del tanque biodigestor, con el fin de evitar posibles fugas del biogás al igual que el tanque de acumulación.

- También se recomienda revisar todos los conductos y uniones, así como también las mangueras para evitar fugas del biogás (es un combustible de olor fuerte), por lo que debe evitarse su utilización en recintos cerrados.
- Se recomienda la instalación y medición del pH para tener una idea de la variación de este para evitar que las bacterias se mueran.
- Se recomienda modificar directamente el carburador del motor para que el gas entre directamente a la cámara de combustión, esto permitirá que al carburador entre la cantidad necesaria de combustible y su rendimiento mejore.
- No utilizar insecticidas, detergentes o desinfectantes, las aguas utilizadas no deben ingresar al tanque en un periodo inferior a tres días después de la aplicación, para evitar que su efecto inhiba las bacterias productoras de biogás.

### **8.3. BIBLIOGRAFIA**

- Quito, Primeras Jornadas de Energía más CD, Departamento de conversión y usos de la energía, 2004
- CARRASCO F. ESPE Monografía de Energías no convencionales, 2003
- VON SPERLING M. Lodos Ativados, 1ra ed. Brasil, SEGRAC, 1996.
- DE LEMOS CHERNICHARO C. Reactores anaeróbios, 1ra ed. Brasil, SEGRAC, 1997
- MOORE C. Energía: Una nueva Era, documento verde 2003
- FUNDACIÓN PESENCA. El Biogás y sus Aplicaciones. Colombia, 1992
- MOORE C. y ALLAN S. El oro verde: Japón, Alemania, los Estados Unidos y la carrera de la tecnología ambiental, 1994
- CD sobre situación energética del Ecuador, Ministerio de Energía y Minas.
- MEGYESY EUGENE F., Pressure Vessel Handbook, Twelfth Edition, Pressure Vessel Publishing.
- CHAPRA S. Métodos Numéricos para ingenieros 3a ed. México, Prentice Hall, 2001

- MOTT ROBERT, Mecánica de fluidos aplicada. Traducido del inglés por Carlos Cordero. 4ta ed. México, Prentice Hall, 1996

#### **8.4. ANEXOS**

- ANEXO A.- Diseño del filtro
- ANEXO B.- Diseño del tanque biodigestor, capacidad 800 L.
- ANEXO C.- Diseño del tanque de acumulación, capacidad 200L.
- ANEXO D.- Diseño del acople del generador.
- ANEXO E.- Manual de funcionamiento de la unidad de generación.
- ANEXO F.- Manual de Funcionamiento del modelo prototipo.
- ANEXO G.- Plantas eléctricas de Biogás en otros países
- ANEXO H.- Acta de Recepción y Entrega