



UNIVERSIDAD FRANCISCO GAVIDIA

FACULTA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**“APLICACIÓN DE UN MEDIDOR DE EMISIONES DE METANO EN
ACOPIOS DE BASURA, PARA HACER FUNCIONAR MOTORES DE
COMBUSTIÓN INTERNA Y PRODUCIR ELECTRICIDAD”**

**PRESENTADO POR
OSCAR ERNESTO RIVERA BONITO**

**PARA OPTAR AL GRADO DE
INGENIERO ELÉCTRICISTA**

SAN SALVADOR, DICIEMBRE DE 2012

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

ING. MARIO ANTONIO RUIZ RAMÍREZ
RECTOR

LIC. TERESA DE JESÚS GONZÁLEZ DE MENDOZA
SECRETARIA GENERAL

ING. ELBA PATRICIA CASTANEDO DE UMAÑA
DECANO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

JURADO:

ING. LUÍS ERNESTO ALVARADO ZAMORA
PRESIDENTE

ING. DARÍO BENJAMÍN VÁSQUEZ MEJÍA
VOCAL

ING. MELVIN ORLANDO ORELLANA MENJÍVAR
VOCAL

TUTOR:

ING. GERARDO MOSCOSO DUEÑAS

DEDICATORIA

“Por la misericordia de Jehová no hemos sido consumidos, porque nunca decayeron sus misericordias. Nuevas son cada mañana; grande es tu fidelidad.”

Lamentaciones 3:22-23

Dedico este triunfo a mi Dios, porque sólo su misericordia y su fidelidad hicieron posible que lo alcanzara.

A mis padres, Oscar Oseas y María Estela, por brindarme siempre su amor y apoyo, por ayudarme a trazar y mantener la visión de mi vida, y estar conmigo siempre. De todo corazón, gracias.

A mi hermana, Xiomara Estela, por su amor, comprensión y apoyo en cada momento de mi vida. Gracias por nunca dejarme.

A mi abuelita, Juanita, por retar mi vida a esforzarme y seguir siempre hacia adelante para alcanzar el éxito, aun en su ausencia. Abuelita, logré tu sueño.

A las personitas que llegaron y cambiaron mi vida. Gracias por llenarla de felicidad. (MJ)

A cada uno de mis amigos, compañeros y docentes que me brindaron su ayuda y apoyo. Les agradezco mucho.

Oscar Ernesto Rivera Bonito

ÍNDICES

ÍNDICES.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.5 FORMULACIÓN DE OBJETIVOS	6
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	7
2. MARCO DE REFERENCIA	8
2.1 MARCO FILOSÓFICO ANTROPOLÓGICO.....	8
2.2 MARCO TEÓRICO.....	11
2.2.1 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	11
2.2.2 FUENTES DE ENERGÍA	12
2.2.3 ENERGÍA ELÉCTRICA	13
2.2.4 FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA	13
2.2.5 LA BIOMASA.....	15
2.2.6 EL METANO.....	17
2.2.6.1 ESTRUCTURA DEL METANO	17
2.2.6.2 FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE METANO	19
2.2.6.3 REACCIONES MICROBIANAS	20
2.2.6.4 EFECTO DE AGENTES FÍSICOS Y QUÍMICOS	21
2.2.7 PROCESO DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON METANO.....	23

2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	30
2.4 MARCO LEGAL	31
3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	33
3.1 HIPÓTESIS GENERAL.....	33
3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	33
3.3 MATRIZ DE CONGRUENCIA.....	33
4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	34
4.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	34
4.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	34
4.3 POBLACIÓN MUESTRA	34
4.4 DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN	35
4.5 CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA	35
5. RECOLECCIÓN DE DATOS	37
5.1 PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	37
5.2 DATOS RECOLECTADOS	37
6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	41
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
7.1 CONCLUSIONES	44
7.2 RECOMENDACIONES.....	44
8. PROPUESTA	46
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.3.1 Estructura de generación neta por recurso.	4
Figura 2.2.1 Estructura básica de un motor de combustión.....	11
Figura 2.2.2 Fases de un ciclo de trabajo del motor de combustión.....	12
Figura 2.2.3 Relleno sanitario del Área Metropolitana de San Salvador.....	19
Figura 2.2.4 Esquema de generación de electricidad en un relleno sanitario.....	24
Figura 2.2.5 Esquema de instalación de la geomembrana en el relleno sanitario.	24
Figura 2.2.6 Colocación de geomembrana.	25
Figura 2.2.7 Riego de lixiviados sobre el relleno sanitario.....	25
Figura 2.2.8 Pozos verticales activos para la extracción de lixiviados y biogás.....	26
Figura 2.2.9 Pozos verticales inactivos para utilizarse posteriormente.....	26
Figura 2.2.10 Equipo de monitoreo de concentraciones de gas.....	27
Figura 2.2.11 Sistema de filtrado y monitoreo para el biogás.....	27
Figura 2.2.12 Quemador de excedentes de biogás.....	28
Figura 2.2.13 Monitoreo del gas, en el área de generación.....	28
Figura 2.2.14 Motores de combustión utilizados en el proceso de generación.....	29
Figura 2.2.15 Suministro de la energía eléctrica a la red de distribución.....	29
Figura 5.2.1 Tubería de PVC que transporta el biogás del relleno sanitario a la planta....	38
Figura 5.2.2 Medidores de flujo de biogás conectado a la tubería de transporte.....	38
Figura 5.2.3 Analizador de emisiones de metano con filtros.	39
Figura 5.2.4 Motor de combustión que lleva a cabo el proceso de generación.	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.3.1 Número de clientes por empresa distribuidora.	4
Tabla 1.4.1 Hogares con el servicio de energía eléctrica por departamentos, en El Salvador.	6
Tabla 2.1.1 Índices económicos 2007-2011: Tasa de crecimiento del PIB.	8
Tabla 2.1.2 Índices económicos 2007-2011: Tasa de crecimiento demográfico anual.	8
Tabla 2.1.3 Cobertura de energía eléctrica en El Salvador al 1er Semestre 2012.	9
Tabla 2.1.4 Índices económicos 2007-2011: Generación de energía por fuente.	9
Tabla 2.1.5 Generación de desechos sólidos por departamento. Año 2009.	10
Tabla 2.1.6 Hogares sin servicio sanitario por departamentos, en El Salvador.	10
Tabla 4.3.1 Hogares con el servicio de energía eléctrica en el departamento de San Salvador.	35
Tabla 4.5.1 Cantidad y porcentaje de hogares sin el servicio de energía eléctrica en el departamento de San Salvador.	36
Tabla 5.2.1 Materiales de los que puede estar formada la tubería para transportar el biogás.	37
Tabla 5.2.2 Concentraciones de gases requeridas en el proceso de generación.	39
Tabla 5.2.3 Producción Per Cápita (PPC) promedio por tipología.	40

RESUMEN

Debido a que actualmente algunos sectores de la población no cuentan con el recurso de la energía eléctrica y otras fuentes complementarias, como el gas propano, debido a sus altos costos y el difícil acceso a ellos, es necesario identificar una fuente de energía renovable y de bajos costos, para contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de dichos sectores y mitigar problemas asociados a la obtención de recursos alternativos, como lo son la contaminación ambiental y la deforestación.

En El Salvador, la empresa AES, de origen estadounidense y propietaria de las compañías distribuidoras de energía eléctrica: CAESS, CLESA , DEUSEM y EEO, inauguró el 14 de noviembre del 2011, una planta generadora con gas metano, en el municipio de Nejapa, San Salvador, cuyo fin es abastecer del recurso de la energía eléctrica a miles de familias de dicho municipio. Este tipo de planta es la primera en su tipo en el país y la región, posicionando a El Salvador como pionera en este campo.

Sin embargo, a pesar de esto, muchos hogares no cuentan con el recurso de la energía eléctrica, y se busca implementar este tipo de tecnología para suplir esa demanda, ya que se ha estudiado que ocupar el recurso de los desechos sólidos para la obtención de metano como fuente generadora de electricidad, es factible y se posiciona como una alternativa atractiva, ya que no produce un impacto negativo en el medio ambiente y tiene una fuente prácticamente inagotable en un asentamiento poblacional.

Por ello, para determinar si un acopio de basura o desechos sólidos es apropiado para la generación de energía eléctrica, es necesario llevar a la cabo las mediciones de flujo de biogás (que es el que contiene el metano), y de concentración de gases, ya que en el dicho proceso se deben mantener ciertos parámetros para lograr una alta eficiencia y por ende un buen desempeño.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional que ha experimentado El Salvador en los últimos años, junto a la creciente demanda energética, la mala distribución de recursos y otros factores más, han provocado que surjan nuevas necesidades en todos los ámbitos del país, entre los principales está el económico, como base para el sostenimiento de otras áreas y del modo de vida de la población. Como uno de los tópicos de interés se encuentra el desarrollo de proyectos para el mejoramiento de la calidad de vida de los salvadoreños, y el crecimiento de la industria y el comercio.

Es por esta razón, y sabiendo que en el presente la energía eléctrica es el recurso principal para el funcionamiento de los sectores productivos en términos técnicos y materiales, que recientemente se han buscado alternativas para la producción de energía eléctrica, como elemento primordial para la ejecución de dichos proyectos, procurando que sean sostenibles en el tiempo y amigables con el ambiente. Uno de estas opciones, y que algunas empresas ya han empezado a desarrollar, es la generación con gas metano (CH_4), generado en los acopios o recipientes de basura.

En el presente proyecto de investigación se quiere contribuir a esta alternativa de generación de energía eléctrica, aportando información sobre la metodología para la medición de las emisiones de metano y determinar si acopios de basura, comunales o municipales, son aptos para la generación de energía eléctrica o plantear el diseño de otros para alcanzar este fin. Con ello se aportará al desarrollo de comunidades y sectores del país, que por falta de recursos no pueden acceder a este tipo de fuente de energía y por lo tanto, no pueden alcanzar un desarrollo económico que mejore su calidad de vida.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Debido a que actualmente muchos sectores de la población no cuentan con el recurso de la energía eléctrica y otras fuentes, como el gas propano, debido a sus altos costos y difícil accesos a los mismos, es necesario identificar una fuente de energía renovable para contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de dichos sectores.

Tomando en cuenta que en cada asentamiento humano se generan desechos orgánicos en su mayoría, y estos producen gas metano en su proceso de descomposición, se vuelve factible y apropiada la generación de energía eléctrica por medio de este gas, sin embargo, para realizar dicho proceso es necesario alcanzar un nivel suficiente de emisiones de metano para que la generación sea sostenible y adecuada en el tiempo.

Por esta razón, se plantea el problema de realizar las mediciones necesarias de la cantidad de emisiones de metano en un acopio de basura, y determinar si es apto para la generación sostenible de energía eléctrica.

1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Frente al hecho de satisfacer la necesidad de muchos sectores de la población del país de una fuente de energía eléctrica, que en la actualidad no es accesible, se quiere determinar si pueden utilizarse los desechos que dichos sectores producen para la obtención de la fuente de energía eléctrica buscada, a partir de la producción de gas metano.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El Salvador es un país en desarrollo que tiene problemas propios de este proceso como incremento en la tasa poblacional y la escasez de los recursos naturales que posee, que se ve agravada por la crisis energética mundial actual.

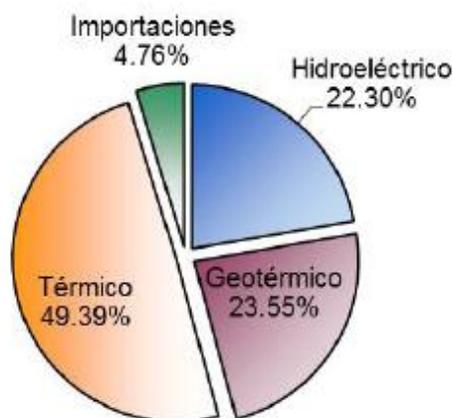
Además de esto en los últimos años, la demanda de energía eléctrica se ha incrementado en el país, no solo en la industria y el comercio, sino también, en el rubro de usuarios residenciales como se muestra en la Tabla 1.3.1:

	jun-11	jun-10	Variación %
CAESS	536,226.0	525,259.0	2.0%
DELSUR	325,784.0	317,147.0	2.7%
AES-CLESA	323,014.0	312,355.0	3.4%
EEO	248,282.0	236,929.0	4.8%
DEUSEM	65,522.0	63,477.0	3.2%
EDESAL	10,568.0	9,064.0	16.6%
B&D	10.0	10.0	0.0%
ABRUZZO	91.0	85.0	7.1%
	1509,497.0	1464,596.0	3.1%

Fuente: Estadísticas Eléctricas: Avance Primer Semestre 2011. SIGET.

Tabla 1.3.1 Número de clientes por empresa distribuidora.

En el país, las fuentes principales de generación que suplen dicha demanda son la hidroeléctrica, la térmica y la geotérmica, como se muestra en la Figura 1.3.1.



Fuente: Unidad de Transacciones.

Estadísticas eléctricas: Avance Primer Trimestre 2011.

Figura 1.3.1 Estructura de generación neta por recurso.

En el caso de la generación hidroeléctrica, por depender de un recurso natural, está sujeta a condiciones climáticas y factores similares. Esto provoca que sus costos de producción y por ende, los de comercialización, fluctúen en el tiempo. Este fenómeno ha provocado que los costos de la energía eléctrica en el país estén aumentando continuamente, impactando negativamente a la economía de los usuarios de este recurso.

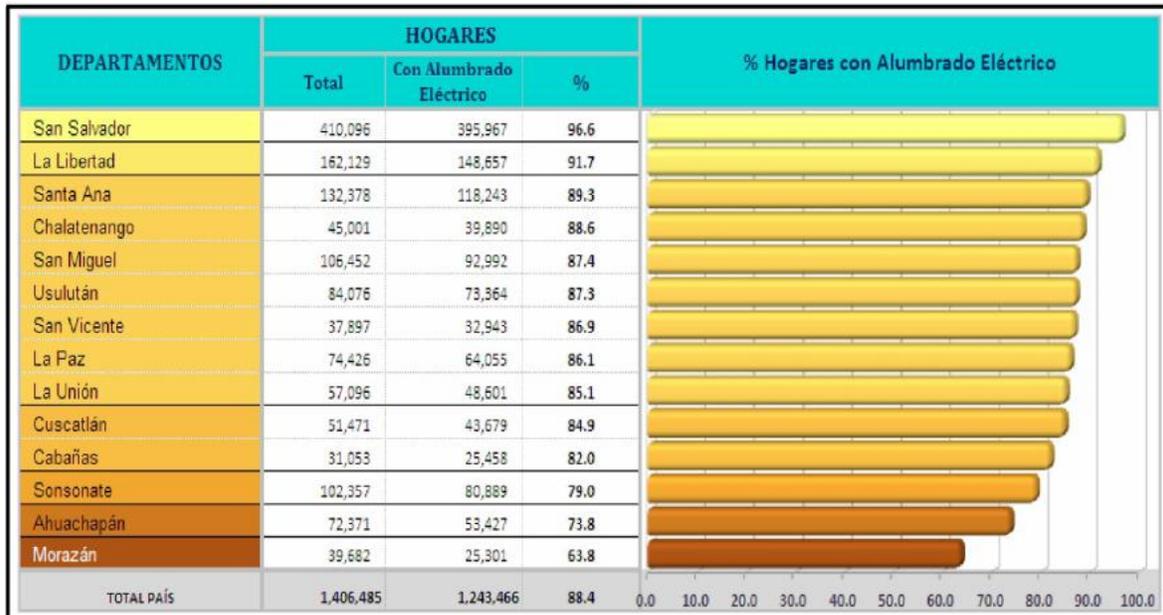
En relación a la generación térmica, también sus costos de producción han aumentado, debido a que su materia prima, los derivados del petróleo, han incrementado su valor en gran medida, en los últimos meses. Por lo tanto, el impacto negativo en la economía es similar o mayor a la generación hidroeléctrica. Sin embargo, además de esta desventaja, este tipo de generación tiene un mayor efecto negativo: la contaminación ambiental.

Debido al proceso que se realiza en la generación térmica, se emiten muchos gases que, en grandes cantidades y al llegar a la atmósfera, provocan el efecto invernadero, y además, contaminan el medio ambiente circundante. Por estas razones y por el hecho que el crecimiento poblacional del país va en aumento, es necesario implementar nuevas formas de generación de energía eléctrica que tengan bajos costos de producción y que sea amigable con el medio ambiente.

Por lo mencionado anteriormente, en el país existe una fuerte tendencia a utilizar tecnologías alternativas para la generación de energía eléctrica. Entre ellas, la que utiliza como fuente el gas metano, se vuelve una alternativa viable para comunidades que no tienen acceso a este recurso, por razones económicas o geográficas, ya que por tener como materia prima desechos orgánicos, tiene costos bajos de producción, y es una fuente que en un asentamiento poblacional no se agota. Además por el tipo de elemento que es, el impacto negativo en el medio ambiente, es menor comparado con otras formas de producción de energía eléctrica, como la térmica.

1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El problema se ha enfocado en El Salvador. Por la disponibilidad de información se ha tomado de referencia la del 2007, ya que es la más actualizada al momento. Debido a la naturaleza del proyecto de investigación, se ha enfocado a los sectores de la población que carecen del recurso de la energía eléctrica (Tabla 1.4.1).



Fuente: Atlas Sociodemográfico Censo 2007. DYGESTIC.

Tabla 1.4.1 Hogares con el servicio de energía eléctrica por departamentos, en El Salvador.

1.5 FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una metodología práctica, para determinar si es viable la aplicación de un medidor de emisiones de metano en lugares que funcionan como acopios de basura, y determinar si estos son aptos para la generación de energía eléctrica.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Conocer los tipos de medidores de metano que actualmente se encuentran en el mercado y determinar cuál es el apropiado para el fin planteado.

- ✓ Determinar las condiciones requeridas que debe tener un acopio de basura para que de él se pueda generar electricidad.
- ✓ Estudiar y determinar las técnicas de medición adecuadas para el gas metano.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

En El Salvador, existen empresas que ya han establecido plantas generadoras de electricidad por medio de gas metano, y algunas otras están desarrollando proyectos similares a menor escala o para uso propio.

El objeto de este trabajo de investigación es examinar la parte del proceso de generación referente a la medición de la cantidad de metano para poder aplicarlo en proyectos de índole social y determinar si es factible o no generar electricidad.

Respecto a los instrumentos de medición, se analizarán las características de los que son utilizados generalmente para medir las emisiones de metano, y así determinar la forma de aplicarlos en los lugares que son objeto de estudio en este trabajo.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO FILOSÓFICO ANTROPOLÓGICO

El Salvador es un país en desarrollo que en el pasado ha sufrido eventos adversos, como dictaduras, la guerra civil de los años 80, y tantos otros que han dañado los ámbitos social, económico y cultural. En estos últimos años, también han acontecido sucesos que han contribuido a que el crecimiento del país se vuelva lento y en algunos momentos se detenga o retroceda (Tabla 2.1.1). Estos sucesos son de índole político, social, económico (nacional e internacional) y desastres naturales.

Tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) Precios constantes de 1990				
2007	2008	2009	2010	2011
3.8%	1.3%	-3.1%	1.4%	1.5%

Fuente: Banco Central de Reserva

Tabla 2.1.1 Índices económicos 2007-2011: Tasa de crecimiento del PIB.

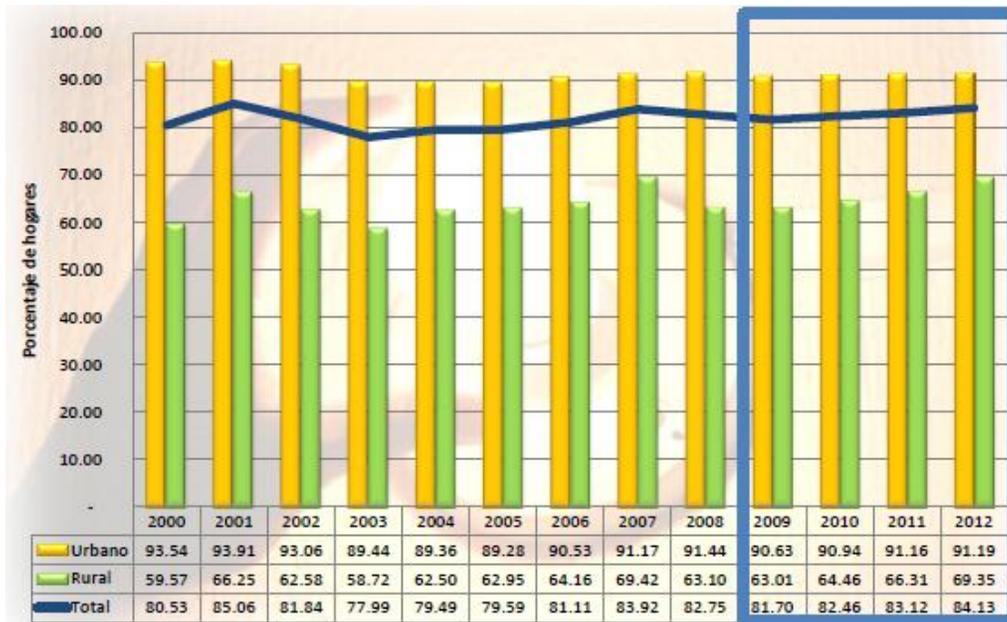
A pesar de la lentitud o desaceleración del crecimiento económico del país, se han buscado continuamente soluciones ante tal situación y otras necesidades de la población para mantener y mejorar su calidad de vida.

Otro factor importante que se debe considerar es el crecimiento poblacional a través de los años (Tabla 2.1.2), ya que esto influye en dos aspectos igualmente importantes: el consumo y escasez de los recursos naturales, y el aumento en la demanda energética (Tabla 2.1.3).

Tasa de crecimiento demográfico anual				
2007	2008	2009	2010	2011
0.4%	0.5%	0.5%	0.5%	0.6%

Fuente: Banco Central de Reserva

Tabla 2.1.2 Índices económicos 2007-2011: Tasa de crecimiento demográfico anual.



Fuente: DYGESTIC.

Tabla 2.1.3 Cobertura de energía eléctrica en El Salvador al 1er Semestre 2012.

En relación con la demanda eléctrica, para satisfacerla se hace uso de los recursos naturales con los que se cuenta, como el hidrológico y el geotérmico, y otras fuentes como el bunker (generación térmica) principalmente (Tabla 2.1.4).

Generación de energía eléctrica por fuente (Millones de KWh)					
Fuente \ Año	2007	2008	2009	2010	2011
Hidráulica	1,735.5	2,034.2	1,500.3	2,079.1	2,006.6
Geotérmica	1,293.0	1,420.8	1,421.0	1,421.1	1,430.0
Térmica	2,423.1	2,243.7	2,611.6	2,221.6	2,375.2
Total	5,451.6	5,698.7	5,532.9	5,721.8	5,811.8
Consumo aparente de energía	5,483.0	5,692.8	5,662.6	5,807.1	5,926.0

Fuente: Banco Central de Reserva

Tabla 2.1.4 Índices económicos 2007-2011: Generación de energía por fuente.

Otro aspecto de mucha importancia a considerar, además de los ya mencionados, es uno ligado al crecimiento poblacional: la producción de desechos sólidos y la contaminación del medio ambiente.

Entre mayor es la población existente se genera una mayor cantidad de desechos sólidos que deben ser manejados de manera que su impacto negativo en el medio ambiente sea el menor posible (Tabla 2.1.5).

	Departamento	Generación (Ton/mes)	Recolección (Ton/mes)	Cobertura	Población servida	Viviendas servidas
1	Ahuachapán	1,960	1,580	84%	113,086	27,130
2	Santa Ana	8,416	7,440	76%	249,190	64,638
3	Sonsonate	3,596	3,270	91%	237,034	56,989
4	Chalatenango	1,823	1,590	85%	53,936	13,195
5	La Libertad	12,144	9,810	89%	411,152	103,775
6	Cabañas	1,502	1,230	84%	41,121	9,505
7	La Paz	2,000	1,680	81%	122,907	30,289
8	Cuscatlán	2,471	1,530	78%	74,887	17,400
9	San Salvador	53,537	37,350	69%	1,006,627	262,673
10	San Vicente	1,183	1,060	82%	62,835	15,143
11	Usulután	3,445	2,710	79%	129,610	32,616
12	San Miguel	7,742	5,362	68%	147,584	37,654
13	Morazán	1,186	897	76%	34,620	8,264
14	La Unión	2,004	1,370	75%	54,201	13,601

Fuente: MARN.

Tabla 2.1.5 Generación de desechos sólidos por departamento. Año 2009

Como se puede observar, aunque en casi todo el territorio nacional la población cuenta con servicio sanitario, hay una parte que aún no lo tiene (Tabla 2.1.6). En el área metropolitana de San Salvador, por ejemplo, la entidad encargada del manejo de estos desechos sólidos es la empresa MIDES.



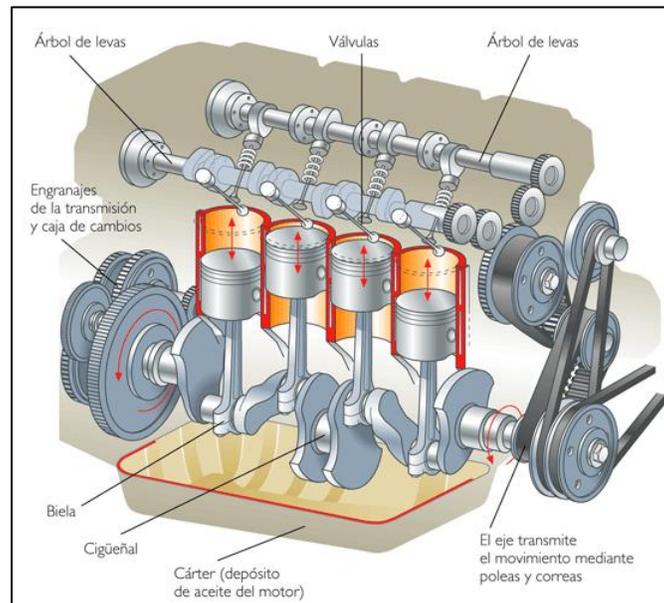
Fuente: Atlas Sociodemográfico Censo 2007. DYGESTIC.

Tabla 2.1.6 Hogares sin servicio sanitario por departamentos, en El Salvador.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

El motor de combustión interna puede ser definido como el conjunto de elementos mecánicos que permite obtener energía mecánica a partir del estado térmico del fluido compresible que lo atraviesa, obtenido por un proceso de combustión que tiene lugar en el interior del fluido (Figura 2.2.1).



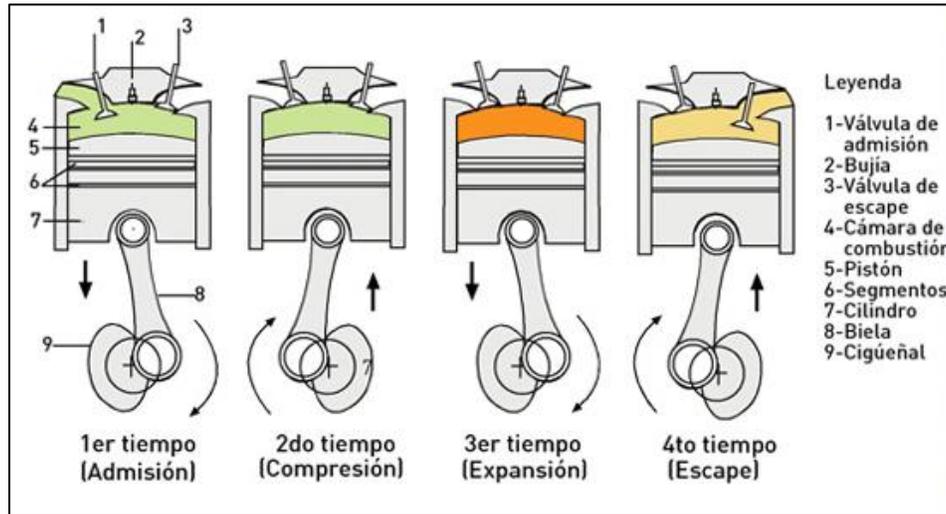
Fuente: Tomada del artículo “Motor de Combustión”. Marzo, 2012. Rincón de la Tecnología.

Figura 2.2.1 Estructura básica de un motor de combustión.

La inflamación del combustible se realiza siguiendo un ciclo de funcionamiento de dos o cuatro tiempos, y el encendido del combustible se logra mediante el salto de una chispa eléctrica o simplemente por compresión. Las diferencias en los ciclos de trabajo de esos dos tipos de motores implican variantes esenciales en su estructura y componentes.

En general, se puede decir que el ciclo de trabajo del motor de combustión presenta varias fases (Figura 2.2.2), en el transcurso de los cuales, se introduce en el cilindro una carga de aire y combustible que posteriormente se inflama, desarrollándose una elevada presión que produce un empuje sobre los pistones,

lo que supone el esfuerzo motor. Posteriormente, el gas quemado es vertido al exterior y se sucede un nuevo ciclo.



Fuente: Tomada del artículo “Ciclo de cuatro tiempos”. Enero, 2013. Wikipedia.

Figura 2.2.2 Fases de un ciclo de trabajo del motor de combustión.

2.2.2 FUENTES DE ENERGÍA

El término energía tiene diversas acepciones y definiciones, relacionadas con la idea de una capacidad para obrar, transformar, poner en movimiento.

En física, energía se define como la capacidad para realizar un trabajo. En tecnología y economía, energía se refiere a un recurso natural y la tecnología asociada para explotarla y hacer un uso industrial o económico del mismo. La energía es una magnitud física abstracta, ligada al estado dinámico de un sistema cerrado y que permanece invariable con el tiempo. También se puede definir la energía de sistemas abiertos, es decir, partes no aisladas entre sí de un sistema cerrado mayor. Un enunciado clásico de la física newtoniana afirmaba que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma.

La energía no es un estado físico real, ni una "sustancia intangible" sino sólo un número escalar que se le asigna al estado del sistema físico, es decir, la energía es una herramienta o abstracción matemática de una propiedad de los sistemas

físicos. Por ejemplo se puede decir que un sistema con energía cinética nula está en reposo.

El uso de la magnitud energía en términos prácticos se justifica porque es mucho más fácil trabajar con magnitudes escalares, como lo es la energía, que con magnitudes vectoriales como la velocidad y la posición. Así, se puede describir completamente la dinámica de un sistema en función de las energías cinética, potencial y de otros tipos de sus componentes. En sistemas aislados además la energía total tiene la propiedad de "conservarse", es decir, ser invariante en el tiempo. Matemáticamente la conservación de la energía para un sistema es una consecuencia directa de que las ecuaciones de evolución de ese sistema sean independientes del instante de tiempo considerado, de acuerdo con el teorema de Noether.

2.2.3 ENERGÍA ELÉCTRICA

Se denomina energía eléctrica a la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos (cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico) y obtener trabajo.

La energía eléctrica puede transformarse en muchas otras formas de energía, tales como la energía luminosa o luz, la energía mecánica y la energía térmica. Su uso es una de las bases de la tecnología utilizada por el ser humano en la actualidad. La energía eléctrica se manifiesta como corriente eléctrica, es decir, como el movimiento de cargas eléctricas negativas, o electrones, a través de un cable conductor metálico como consecuencia de la diferencia de potencial que un generador esté aplicando en sus extremos.

2.2.4 FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA

Una energía alternativa, o más precisamente una fuente de energía alternativa es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por

su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. El concepto de "crisis energética" aparece cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Y ya que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no podrá ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener dicha energía. Las energías renovables en las que se trabaja actualmente son:

- ❖ **La energía eólica:** que es la energía cinética o de movimiento que contiene el viento, y que se capta por medio de aerogeneradores o molinos de viento.
- ❖ **La energía hidráulica:** consistente en la captación de la energía potencial de los saltos de agua, y que se realiza en centrales hidroeléctricas.
- ❖ **La energía oceánica o mareomotriz:** que se obtiene bien de las mareas (de forma análoga a la hidroeléctrica), o bien a través de la energía de las olas.
- ❖ **La energía solar:** recolectada de forma directa en forma de calor a alta temperatura en centrales solares de distintas tipologías, o a baja temperatura mediante paneles térmicos domésticos, o bien en forma de electricidad mediante el efecto fotoeléctrico mediante paneles foto voltaicos.
- ❖ **La energía geotérmica:** producida al aprovechar el calor del subsuelo en las zonas donde ello es posible.
- ❖ **La energía por medio de biomasa:** por descomposición de residuos orgánicos o bien por su quema directa como combustible.

Es importante reseñar que las energías alternativas, aun siendo renovables, también son finitas, y como cualquier otro recurso natural tendrán un límite máximo de explotación, por tanto incluso aunque se pueda realizar la transición a

estas nuevas energías de forma suave y gradual, tampoco van a permitir continuar con este modelo económico basado en el crecimiento perpetuo. Por lo tanto, aun utilizando estas energías renovables, es necesario que se procure que sigan un modelo de Desarrollo Sostenible.

2.2.5 LA BIOMASA

La biomasa es el nombre dado a cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en un proceso biológico. Puede ser derivada de animales y vegetales, como resultado del proceso de conversión fotosintético. La energía de la biomasa deriva del material vegetal y animal, tal como madera de bosques, residuos de procesos agrícolas y forestales, y de la basura industrial, humana o animales. Mediante la acción de microorganismos, (bacterias metanogénicas, etc.), y otros factores, en ausencia de aire (ambiente anaeróbico) permiten que la materia orgánica se descomponga, generando biogás.

Se sabe que la basura sufre un proceso de descomposición y fermentación. Después de depositada en un relleno sanitario es muy difícil predecir tal descomposición debido a la heterogeneidad del material y al poco conocimiento que existe sobre los mecanismos de descomposición que operan en la basura. Algunos de los cambios físicos, químicos y biológicos más importantes que sufre la basura durante su descomposición son los siguientes:

- Decaimiento biológico de compuestos orgánicos con generación de gases y líquidos.
- Oxidación química de materiales.
- Escape y difusión de gases a través del relleno sanitario.
- Disolución (lixiviado) de materiales orgánicos e inorgánicos por el agua y por el propio lixiviado.
- Movimiento de líquidos.
- Asentamientos causados por consolidación del material en los huecos creados por la descomposición, lixiviado y paso del gas.

Diversos estudios sobre descomposición concuerdan en que los principales gases presentes en un relleno sanitario son el hidrogeno (H_2), oxígeno (O_2), nitrógenos (N_2), metano (CH_4) y bióxido de carbono (CO_2). También se detectaron trazas de ácido sulfhídrico (H_2S) y, en los casos en que el pH es altamente alcalino, se descubrió la presencia de amoníaco (NH_3). La compactación es un parámetro importante en la cantidad y composición de gases producidos; a mayor compactación se obtiene más gas por unidad de volumen de sólidos.

Diversos autores proponen el modelo ya estudiado de la descomposición de la celulosa para la modelación de la descomposición de la basura. Según este modelo, en la primera fase aeróbica se producen las siguientes dos reacciones catalizadas por microorganismos aerobios:

Celulosa Glucosa

Glucosa + Oxígeno CO_2 + Agua = Energía

Según el modelo, la descomposición anaeróbica se presenta por cuatro reacciones catalizadas por microorganismos anaerobios:

Celulosa Glucosa

Glucosa Etanol + CO_2 + Energía

Etanol + CO_2 Ácido acético + Metano

Ácido acético Metano + CO_2

Otros componentes que surgen en la descomposición de la basura son:

Lixiviados. Como consecuencia de la descomposición de la basura se producen líquidos percolados o lixiviados y gases, que al abandonar el relleno pasan a los alrededores y los afecta de manera nociva. La interrelación entre el contenido de la humedad, tamaño de trozos de basura, circulación de aire y temperatura es relativamente compleja. El efecto total de estos factores es lo que determina la evaporación y, por lo tanto la producción de lixiviados en rellenos.

Gases. Al ser inseparable la producción de gases de la descomposición anaerobio de la basura, es inminente la necesidad de recuperarlos y disponerlos, o mejor aún, aprovecharlos.

Uno de estos gases producidos es el metano, y ya que se ha descubierto que puede ser utilizado para distintos procesos, se ha hecho objeto de estudio de muchas investigaciones que buscan aprovechar este recurso.

2.2.6 EL METANO

El metano, hidrocarburo de fórmula CH_4 , es el primer miembro de la serie de los alcanos. Es más ligero que el aire, incoloro, inodoro e inflamable. Se encuentra en el gas natural, como en el gas grisú de las minas de carbón, en los procesos de las refinerías de petróleo, y como producto de la descomposición de la materia en los pantanos y basureros.

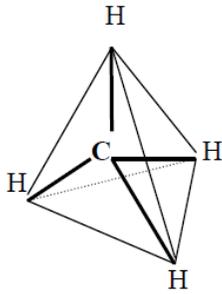
2.2.6.1 ESTRUCTURA DEL METANO

Composición química.

Los cuatro átomos de hidrógeno están unidos al de carbono por un enlace covalente, es decir, compartiendo un par de electrones. Cuando el carbono esta unido a cuatro átomos, sus orbitales enlazantes (orbitales sp^3 , formados por mezcla de un orbital s y un orbital p) se dirigen hasta los vértices de un tetraedro.

Conformación espacial.

Su disposición atómica es tetraédrica, donde cada núcleo de H_2 debe ubicarse en cada vértice, lo que permite a los orbitales estar separados al máximo. Para que cada uno de estos orbitales solape al orbital esférico s de un átomo de hidrógeno con efectividad máxima, formando así un enlace más fuerte, cada núcleo de hidrógeno debe ubicarse en un vértice de este tetraedro. Su peso atómico es de 16.04 unidades de masa atómica (uma) y su fórmula química es CH_4



El tamaño de cada unión entre los átomos de hidrógeno y de carbono es de 1,10 Å y el ángulo entre ellos es de 109,5°

La estructura tetraédrica del metano ha sido verificada por la difracción de electrones.

Los parámetros para la óptima generación de metano son los siguientes:

- **Temperatura:** Usualmente de 20 a 40°C (intervalo mesófilo), aunque puede trabajar también en intervalo termofílico (de 50 a 60°C).
- **Ausencia de aire:** La captación del gas se hace a 30 metros de profundidad, aunque, a nivel piloto suele hacerse entre 3 y 12 metros.
- **pH:** entre 6.7 y 7.0.
- **Humedad:** 60% para digestión anaerobia. Si la humedad es inferior al 20% la biodegradación se reduce notablemente. En cambio, si es superior al 60% se presentan problemas de lixiviados.
- **Nutrientes:** (nitrógeno). Debe haber suficiente para permitir el crecimiento bacteriano.
- **Ausencia de materiales tóxicos.** En los microorganismos que intervienen en la formación de metano. El metano se forma en los rellenos desde la etapa anaerobia metanogénica inestable y continúa durante la metano génica estable, a razón de 50% metano y 50% de CO₂, aproximadamente.

Los rellenos sanitarios (Figura 2.2.3) son una fuente importante de generación de metano. Estos ocasionan: calentamiento global y cambio climático, efecto invernadero, y desperdicio de gas como fuente de energía limpia; principalmente. Es por esto, que se le ha dado seguimiento a la alternativa de generar electricidad por este medio.



Figura 2.2.3 Relleno sanitario del Área Metropolitana de San Salvador.

2.2.6.2 FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE METANO

La cantidad y composición de los gases producidos durante la digestión anaeróbica son función de una fracción total de los residuos que se exponen a la acción de las bacterias anaeróbicas, de la fracción biodegradable, y de las condiciones ambientales del proceso. Cuanto más biodegradable es el residuo, mayor resulta la cantidad de metano producido por cantidad de desperdicios introducido en el digestor. Bajo estas condiciones, según Brown (1978), “es posible producir entre 8 y 9 pies cúbicos de gas (que contiene de 60% a 70% de metano) por libra de materia sólida volátil introducida (0.5 a 0.6 m^3/kg), cuando la materia orgánica es altamente biodegradable, como en el caso de excremento humano y el estiércol fresco de animal”. (p. 154).

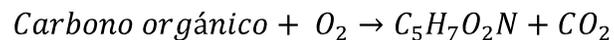
La relación entre el carbón y el nitrógeno (C:N) que se encuentra en las materias primas es importante para la producción de metano. El nitrógeno es necesario para la síntesis y para la actividad de los microorganismos en el proceso anaeróbico. Si no existe suficiente cantidad de nitrógeno para hacer posible la reproducción de las bacterias anaeróbicas, el principal gas producido será el bióxido de carbono (CO_2). Para la óptima producción de metano la relación C:N debe estar por debajo de 30-35. Sin embargo, por otro lado sin el contenido de

nitrógeno es excesivo, la concentración amoniacal puede llegar a límites inhibitorios para los microorganismos, lo que provoca una reducción o un cese de la producción de metano. Entre los restos que presentan un alto contenido en nitrógeno están los restos de pescado, sangre y estiércol fresco de corral.

Además de lo anterior, debe tenerse en cuenta que si la sustancia orgánica introducida al proceso de digestión presenta un reducido contenido biodegradable y es resistente a la acción microbiana, no es apta para dicho proceso, aunque contenga una relación adecuada de C:N.

2.2.6.3 REACCIONES MICROBIANAS

La oxidación de los compuestos orgánicos ricos en carbono representa el mecanismo por el cual los organismos heterotrópicos obtienen la energía para su actividad y para la síntesis de nuevos organismos. En sistemas de tratamiento aeróbico el carbono orgánico se transforma, después de muchas etapas, en protoplasma microbiano sintetizado, $C_5H_7O_2N$, y bióxido de carbono.



En los sistemas anaeróbicos, el carbono orgánico se convierte en sólidos microbianos, bióxido de carbono, metano, y otros compuestos reducidos. El metabolismo anaeróbico conduce a la formación de metano a través de una serie de pasos. Por simplicidad esto puede resumirse como la conversión de un complejo orgánico en compuestos más simples:

Carbono orgánico

→ células microbianas + ácidos orgánicos, aldehídos, alcoholes, etc

Y la conversión de compuestos más simples en productos gaseosos más complejos:

ácidos orgánicos + carbono orgánicos oxidado

→ células microbianas + metano + bióxido de carbono

En la primera etapa se produce una pequeña estabilización de materia orgánica. La mayor parte de la estabilización de la materia orgánica se produce en la segunda etapa, durante la cual los compuestos carbonosos, el bióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄), son liberados a la atmósfera. La producción de metano es un proceso que se realiza en base a la estabilización de las sustancias de desperdicios y reduce la biodegradabilidad de las mismas. Estas reacciones deben ocurrir simultáneamente, ya que si no se producen en forma equilibrada el proceso puede fallar.

2.2.6.4 EFECTO DE AGENTES FÍSICOS Y QUÍMICOS

La reproducción de las bacterias se realiza por simple división binaria o escisión, que ocurre en las formas bacilares y espirales por el eje más corto. A continuación se presentan algunos factores que afectan el crecimiento de ellas:

Concentración de iones hidrógeno (pH).

En los sistemas anaeróbicos las bacterias son sensibles a los cambios en el pH. El mejor pH para la producción de metano está entre 7.0 y 7.2, aunque es satisfactorio entre 6.6 y 7.6. Cuando el pH desciende por debajo de 6.6 se producirá una inhibición significativa en las bacterias metanógenas. Si el pH fuera inferior a 6.2 se producirá condiciones ácidas que serán tóxicas para las bacterias. Bajo las condiciones equilibradas de digestión, las reacciones bioquímicas tienden automáticamente a mantener el pH en el nivel apropiado.

Temperatura.

Es uno de los factores más importantes que influyen en todas las formas vitales. Sólo lo que respecta a la supervivencia al calentamiento, la mayor parte de las bacterias en estado de desarrollo activo, mueren rápidamente al exponerse a temperaturas de unos 70°C, durante 15 minutos. La ebullición las mata en un

breve instante. Los límites de temperatura dentro de los cuales hay supervivencia bacteriana son: $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $160\text{ }^{\circ}\text{C}$; pero poseen actividad a temperaturas entre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, es decir, que se debe hacer la distinción entre la aptitud para tolerar una temperatura dada, y aquella para crecer bien en las mismas condiciones.

Las bacterias de acuerdo con las diferentes temperaturas a las que se desarrollan se clasifican en:

- a) Psicrófilas: (amantes del frío), se desarrollan preferentemente a temperaturas por debajo de los $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, con temperaturas mínimas de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura óptima entre los $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y con temperatura máxima de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- b) Mesófilas: (amantes de la moderación), se desarrollan mejor a temperaturas moderadas. La temperatura óptima es de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, la temperatura mínima varía de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la temperatura máxima generalmente es de $43\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- c) Termófilas: (amantes del calor), se desarrollan a temperaturas altas. Su temperatura mínima oscila entre los 25 y los $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, su temperatura óptima oscila entre los 50 y $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su temperatura máxima entre los 60 y los $85\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La mayor parte de las bacterias que intervienen en la putrefacción de los vegetales, la descomposición de la carne y la acidificación de la leche son mesófilas.

Oxígeno.

Algunas bacterias son capaces de vivir normalmente en presencia y/o ausencia de aire. En relación a la necesidad de oxígeno, las bacterias se clasifican en:

- a) Aeróbicas obligadas: aquellos organismos que sólo se desarrollan en presencia de oxígeno libre o atmosférico.
- b) Anaeróbicas facultativas: aquellas que son principalmente aeróbicas, pero que pueden desarrollarse en ausencia de oxígeno libre.
- c) Anaeróbicas obligadas: las que sólo se pueden desarrollar en un ambiente sin oxígeno libre, ni aun en pequeñas cantidades.
- d) Aeróbicas facultativas: organismos fundamentalmente anaeróbicos, pero que también se desarrollan en presencia de oxígeno libre.

Humedad.

El agua, principal componente de la célula bacteriana, es indispensable para la germinación, y su presencia en menor o mayor cantidad, condiciona la tasa de crecimiento.

Luz.

Para la mayoría de bacterias es perjudicial, aunque hay algunas especies que son estimuladas por ella. La luz difusa dificulta el desarrollo de la mayor parte de las bacterias, y los rayos directos del sol, especialmente los ultravioletas son dañinos en alto grado.

Bióxido de carbono.

Ciertas bacterias demandan durante el período de adaptación a los medios de cultivo, la presencia de cierta cantidad de bióxido de carbono, el cual estimula de manera evidente el desarrollo de algunas especies.

Sales.

Los cloruros de metales alcalinos térreos estimulan a las bacterias. Los cloruros de metales pesados estimulan pero en concentraciones extremadamente bajas, ya que en concentraciones altas, estos últimos ejercen un efecto dañino.

2.2.7 PROCESO DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON METANO.

El proceso mediante el cual se genera electricidad utilizando como fuente la basura sigue un esquema como el siguiente (Figura 2.2.4):

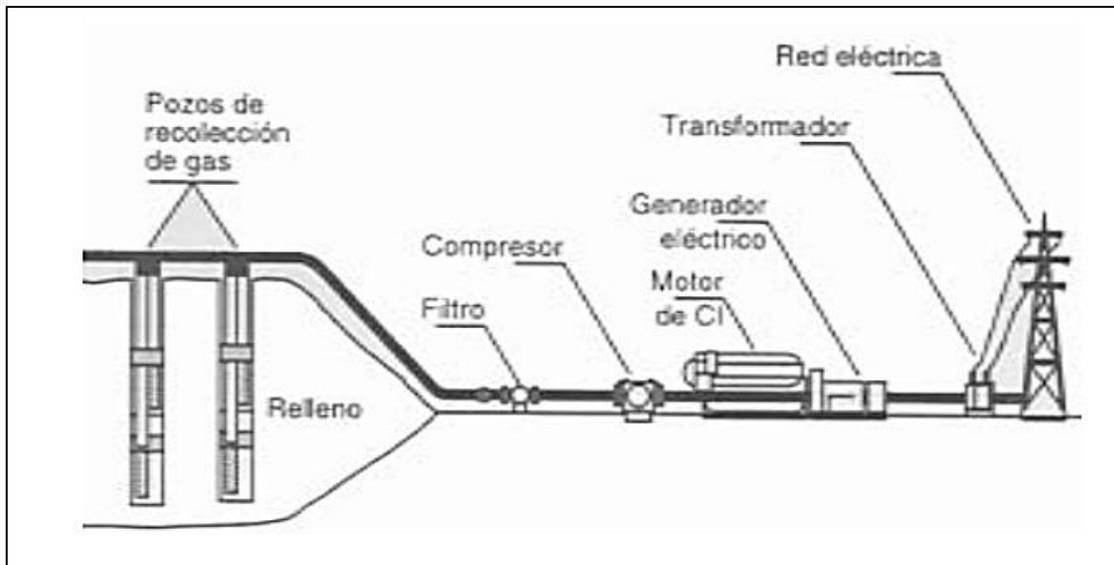


Figura 2.2.4 Esquema de generación de electricidad en un relleno sanitario.

Proceso de recolección del gas.

El proceso para la recolección del biogás en un relleno sanitario inicia con el depósito de la basura en una zona en la que puedan captarse los productos de ésta (biogás y lixiviados).

Esta área se prepara colocando una capa de arcilla y una geomembrana (Figuras 2.2.5 y 2.2.6) para que los lixiviados no sean absorbidos por el terreno y se pierdan. Sin embargo, el aprovechamiento del biogás no es de inmediato, se deben establecer las condiciones necesarias (físicas y químicas) para que se de este evento.

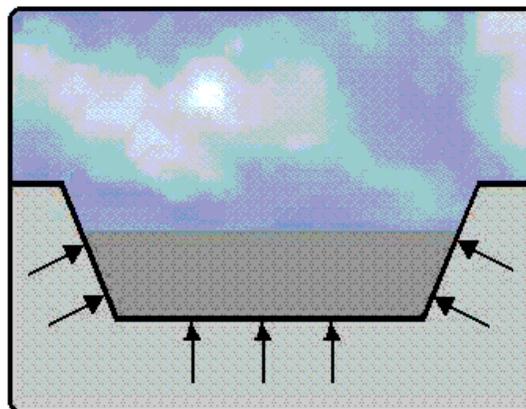


Figura 2.2.5 Esquema de instalación de la geomembrana en el relleno sanitario.



Figura 2.2.6 Colocación de geomembrana.

Para obtener la mayor cantidad de biogás y lixiviados se riegan estos últimos nuevamente sobre la basura (Figura 2.2.7), como técnica para que se genere una mayor cantidad de estos últimos y por ende de biogás.

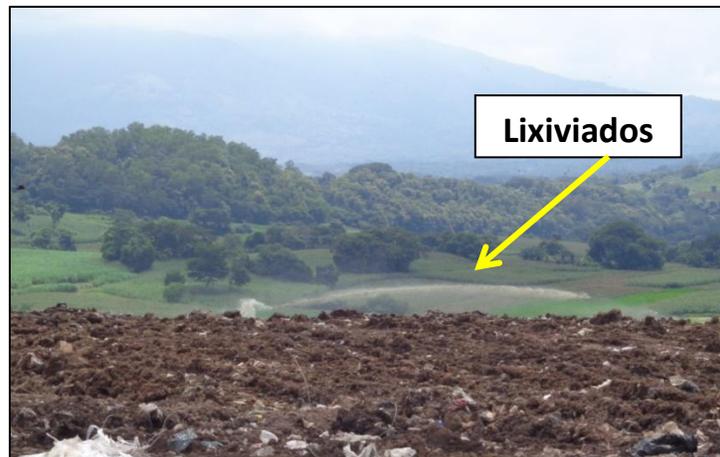


Figura 2.2.7 Riego de lixiviados sobre el relleno sanitario.

El biogás y los lixiviados son extraídos del depósito de basura mediante pozos verticales y pozos horizontales. Sin embargo, por la practicidad y eficacia por el diseño del terreno, actualmente se están utilizando pozos verticales para la extracción de estos productos (Figura 2.2.8). Debido al tiempo que se debe esperar para el aprovechamiento de los desperdicios, se preparan pozos que se utilizarán posteriormente mientras otros están utilizando (Figura 2.2.9).



Figura 2.2.8 Pozos verticales activos para la extracción de lixiviados y biogás.



Figura 2.2.9 Pozos verticales inactivos para utilizarse posteriormente.

Para transportar el gas a la planta de generación, se instala en el relleno una red de tuberías de polietileno de media densidad de 63 mm y 315 mm de diámetro que captan el gas y, mediante bombas de extracción, los lixiviados.

Proceso de preparación del gas.

Previo a introducir el gas en los generadores, se debe separar el metano del resto de gases que son dañinos para los equipos. Esto se realiza mediante filtros por enfriamiento que extraen el agua, al condensarla, y el oxígeno (Figura 2.2.11), hasta llegar a los niveles óptimos de operación, que deben ser monitoreados permanentemente (Figura 2.2.10):

- Metano: Mayor o igual al 40.0%
- Dióxido de carbono: Entre el 35% y el 40.0%
- Oxígeno: Menor al 3.0%



Figura 2.2.10 Equipo de monitoreo de concentraciones de gas.



Figura 2.2.11 Sistema de filtrado por enfriamiento y monitoreo para el biogás.

Los excedentes de biogás, como el hidrógeno, que están presentes en pequeñas proporciones, son quemados (Figura 2.2.12), ya que no son útiles en la generación de la electricidad.



Figura 2.2.12 Quemador de excedentes de biogás.

Proceso de generación.

Una vez el biogás ha sido filtrado, extrayendo el metano y eliminando el agua y oxígeno que perjudican el proceso de generación, se suministra el metano a los generadores para que estos produzcan la energía eléctrica. Este proceso debe ser monitoreado de manera similar que el de filtrado (Figura 2.2.13), ya que si la concentración de oxígeno es mayor, causa daños mecánicos en los motores de combustión (Figura 2.2.14), utilizados en este proceso.

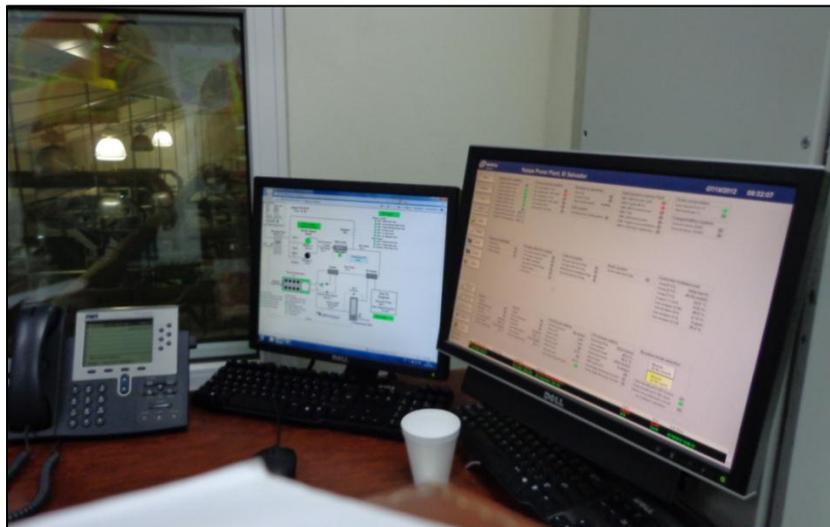


Figura 2.2.13 Monitoreo del gas, en el área de generación.



Figura 2.2.14 Motores de combustión utilizados en el proceso de generación.

Una vez la energía eléctrica es generada, es transmitida a la red que se quiere alimentar, o a la red de distribución, en el caso que se comercializará (Figura 2.2.15).



Figura 2.2.15 Suministro de la energía eléctrica a la red de distribución.

El aprovechamiento del metano, extraído del biogás, para la generación de energía eléctrica es un proceso tecnológicamente probado.

Sus beneficios en materia ambiental son significativos. Se estima una reducción significativa de emisiones CO₂. Se está iniciando a nivel internacional la aplicación de estímulos a empresas que reduzcan emisiones que incidan en el cambio climático global.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

Motor: Máquina destinada a producir movimiento a expensas de otra fuente de energía.

Motor de combustión interna: Conjunto de elementos mecánicos que permite obtener energía mecánica a partir del estado térmico del fluido compresible que lo atraviesa, obtenido por un proceso de combustión que tiene lugar en el interior del fluido.

Energía: Es una magnitud física abstracta, ligada al estado dinámico de un sistema cerrado y que permanece invariable con el tiempo. En física, energía se define como la capacidad para realizar un trabajo. En tecnología y economía, energía se refiere a un recurso natural y la tecnología asociada para explotarla y hacer un uso industrial o económico del mismo.

Energía eléctrica: La forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos (cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico) y obtener trabajo.

Energía alternativa: O más precisamente una fuente de energía alternativa es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

Biomasa: Es el nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético.

Lixiviado: Es el líquido que se ha filtrado a niveles inferiores de un suelo y que ha extraído, disuelto o suspendido materiales. Denominación que se le da a los constituyentes sólidos tras haber sufrido el proceso de lixiviación.

Biogás: Es un gas que consiste principalmente en el gas metano (55%-65%) producido por bacterias durante el proceso de biodegradación por la digestión anaerobia (en la ausencia del oxígeno molecular) de materia orgánica.

Metano: Hidrocarburo de fórmula CH_4 , es el primer miembro de la serie de los alcanos. Es más ligero que el aire, incoloro, inodoro e inflamable. Se encuentra en el gas natural.

2.4 MARCO LEGAL

En nuestro país, las regulaciones existentes, como el decreto N° 237 de la Ley de Medio Ambiente, que entró en vigencia en marzo de 2007, controla el impacto ambiental de los botaderos a cielo abierto. Ante esto el Manejo Integral de Desechos Sólidos (MIDES), empresa norteamericana AVANGARD, y la empresa AES, con la instalación de la planta de generación de energía eléctrica, han contribuido a la disminución del impacto ambiental del relleno sanitario de Nejapa, y al mismo tiempo han obtenido un producto que contribuye al desarrollo del municipio y sus habitante (energía eléctrica).

MIDES se ha preocupado por disminuir el impacto ambiental del relleno sanitario del cual se genera actualmente energía eléctrica, sin embargo, éste depósito de basura, como otros que se quieran utilizar como fuente para la generación de electricidad, es necesario que tomen en cuenta los aspectos relacionados a la

geomorfología, tectónicos y lito estratigráficos para determinar el impacto en el suelo y los mantos acuíferos, ya que aunque se procura no contaminar, los lixiviados y otros productos de la basura siempre se filtran.

Por ello es importante, analizar el suelo en el cual se instalará el relleno sanitario ya que si su formación no es la apropiada se puede impactar negativamente el ambiente, contaminando el recurso hídrico.

3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

3.1 HIPÓTESIS GENERAL

A partir del planteamiento del problema y los objetivos establecidos, se presentan la siguiente hipótesis:

- La cantidad de desechos sólidos en los acopios de basura de las comunidades del Municipio de San Salvador que no cuentan con el recurso de la energía eléctrica, producen el volumen técnicamente necesario de biogás, para suplir la demanda energética de dichas comunidades.

3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA

- La demanda energética de un hogar puede ser suplida con la generación de energía eléctrica mediante metano, producido por los desechos sólidos del mismo.

3.3 MATRIZ DE CONGRUENCIA

Problema	Hipótesis	Enunciado de la hipótesis	Variables	Definición	Indicadores
Suplir la demanda energética de las comunidades del Departamento de San Salvador que no cuentan con el recurso de la energía eléctrica, mediante la fuente alternativa del metano.	General	La cantidad de desechos sólidos en los acopios de basura de las comunidades del Municipio de San Salvador que no cuentan con el recurso de la energía eléctrica, producen el volumen técnicamente necesario de biogás, para suplir la demanda energética de dichas comunidades.	<u>Dependiente:</u> Volumen de biogás producido. <u>Independiente:</u> Cantidad de desechos sólidos producidos por la comunidad.	<u>Volumen de biogás:</u> Son los metros cúbicos de gas que se generan a partir de una cantidad específica de basura. <u>Cantidad de desechos sólidos:</u> Es el valor en peso de los desechos sólidos producidos (Ej.: 1 tonelada). <u>Cantidad de energía eléctrica</u>	- Metros cúbicos de biogás por día - Kilogramos de desechos sólidos por día
	Específica	La demanda energética de un hogar puede ser suplida con la generación de energía eléctrica mediante metano, producido por los desechos sólidos del mismo.	<u>Dependientes:</u> Volumen de biogás producido y cantidad de energía eléctrica producida. <u>Independiente:</u> Cantidad de desechos sólidos producidos y demanda energética.	<u>producida:</u> Es el valor de watts o vatios que se resulta a partir del proceso de generación utilizando como fuente el metano. <u>Demanda energética:</u> Es la cantidad de watts o vatios que consumen todos los equipos y dispositivos eléctricos que se utilicen.	- Metros cúbicos de biogás por día - Kilogramos de desechos sólidos por día - Watts o vatios de los equipos instalados

4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a que el tópico tratado en el presente trabajo es uno que actualmente se está implementando en El Salvador, la investigación se llevará en 2 etapas principales, una de carácter teórico y otra de carácter práctico.

4.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para lograr los fines del presente trabajo, se utilizaron 2 tipos de investigación:

Descriptiva: Se realizarán visitas de campo a la Planta de generación de energía eléctrica AES-Nejapa, que funciona con gas metano y a los botadores de basura principales del Área Metropolitana de San Salvador para recopilar información de los procesos de descomposición de los desechos sólidos y de la generación de energía eléctrica con la fuente de energía alternativa del metano.

Exploratoria: Debido a que es una tema relativamente nuevo en el país, la información disponible es reducida, por lo tanto, se recopilará información de documentos e investigaciones previamente realizadas, tanto en el país como en otras locaciones, para estudiar las variables y procesos involucrados en el tema en estudio.

4.3 POBLACIÓN MUESTRA

La población muestra que será causa de estudio estará conformada por los habitantes del departamento de San Salvador que no cuentan con el recurso de la energía eléctrica (Tabla 4.3.1).

MUNICIPIOS	HOGARES		
	Total	Con Alumbrado Eléctrico	%
San Salvador	87,186	86,039	98.7
Soyapango	64,352	63,405	98.5
Mejicanos	38,601	37,923	98.2
Cuscatancingo	17,296	16,953	98.0
Ilopango	27,707	27,113	97.9
San Marcos	15,679	15,282	97.5
Ayutuxtepeque	8,965	8,673	96.7
Delgado	30,717	29,548	96.2
Aguilares	5,116	4,856	94.9
Apopa	34,320	32,548	94.8
Tonacatepeque	24,555	23,267	94.8
San Martín	18,266	17,278	94.6
Santiago Texacuangos	4,685	4,356	93.0
Santo Tomás	5,861	5,387	91.9
Nejapa	7,392	6,599	89.3
El Paisnal	3,443	3,032	88.1
Guazapa	5,419	4,700	86.7
Panchimalco	8,189	7,017	85.7
Rosario de Mora	2,347	1,991	84.8
TOTAL DEPARTAMENTO	410,096	395,967	96.6

Fuente: Atlas Sociodemográfico Censo 2007. DYGESTIC.

Tabla 4.3.1 Hogares con el servicio de energía eléctrica en el departamento de San Salvador.

4.4 DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN

La población a estudiar consiste en los habitantes de El Salvador que no cuentan con el recurso de la energía eléctrica debido a factores socio-económicos y geográficos entre los cuales están:

- La capacidad económica de adquirir un servicio eléctrico nuevo y de cancelar los costos por dicho servicio mensualmente.
- La dificultad en el acceso de los espacios rurales para la distribución de la energía eléctrica, ya que esto implican costos elevados para llevar este recurso a dichos lugares.

4.5 CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

Según la información del Censo Sociodemográfico realizada por la DYGESTIC en el año 2007, la cantidad de hogares que no cuentan con el recurso de la energía eléctrica, es la siguiente:

Descripción	Porcentaje	Cantidad
Total de hogares	100%	410,096
Hogares con servicio eléctrico	96.6%	395,967
Hogares sin servicio eléctrico	3.4%	14,129

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.5.1 Cantidad y porcentaje de hogares sin el servicio de energía eléctrica en el departamento de San Salvador.

5. RECOLECCIÓN DE DATOS

5.1 PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Como se describió en el capítulo de la Metodología, la información se obtuvo mediante fuentes primarias y secundarias. Como fuentes primarias se tienen las visitas de campo que se realizaron a la planta de generación de energía eléctrica propiedad de AES en Nejapa y al relleno sanitario de MIDES en el mismo municipio. Como fuentes secundarias se tienen libros, artículos y trabajos de investigación previamente realizados del tema y similares.

5.2 DATOS RECOLECTADOS

A continuación se presentan los datos recolectados en el proceso de investigación:

5.2.1 DEL PROCESO DE MEDICIÓN DE METANO PRODUCIDO EN EL RELLENO SANITARIO

La medición de las emisiones de metano se lleva a cabo mediante el siguiente proceso:

1. El biogás generado en el relleno sanitario es transportado mediante tubería (Figura 5.2.1), la cual puede ser de diversos materiales, como los siguientes:

Material	Ventajas	Desventajas
Plástico (PVC, CPVC)	Fácil de trabajar, relativamente barato	Fácil de quebrarse o fracturarse, pueden ser mordidos por roedores. Válvulas más caras de las de galvanizado. Está sujeta a la degradación causada por los rayos ultravioleta
Acero galvanizado	Rígido, menos posibilidades de fracturarse	Se oxida, tubería más cara que la de PVC o plástico
Manguera plástica	Fácil de conectar a los equipos	Cara Se puede dañar fácilmente
Plástico (ABS)	Ninguna	No recomendado

Tabla 5.2.1 Materiales de los que puede estar formada la tubería para transportar el biogás.



Figura 5.2.1 Tubería de PVC que transporta el biogás del relleno sanitario a la planta.

2. La cantidad de gas transportado es monitoreado mediante medidores de flujo que están conectados directamente a la tubería de transporte (Figura 5.2.2).



Figura 5.2.2 Medidores de flujo de biogás conectado a la tubería de transporte.

3. Junto a la medición del flujo, se realizan las de emisiones o concentración de gases, en este caso en particular de metano. Estas mediciones se realizan mediante un analizador de gases por radiación infrarroja, que posee unos filtros atrapadores de agua para separar la que está presente en el gas y que no es deseable en el proceso de medición, para proteger la integridad física de los equipos (Figura 5.2.3).



Figura 5.2.3 Analizador de emisiones de metano con filtros.

4. En el proceso de generación es necesario que exista el nivel de concentración de metano adecuado para tal fin. Los parámetros adecuados son:

Gas	Porcentaje de concentración el biogás
Metano	Mayor o igual al 40%
Dióxido de carbono	35% al 40%
Oxígeno	Menor al 3%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.2.2 Concentraciones de gases requeridas en el proceso de generación.

5.2.2 DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO METANO

Luego de medido, analizado y filtrado el gas, conteniendo la concentración de metano necesaria, se transporta hacia los motores de combustión (Figura 5.2.4), que llevan a cabo el proceso de generación.



Figura 5.2.4 Motor de combustión que lleva a cabo el proceso de generación.

La generación de energía eléctrica depende directamente del flujo de gas que se suministre a estos motores. Estos motores en particular, generan 1 Mega watt o Mega vatio, cada uno, a partir de un flujo de biogás de 770 m³ por hora. Para que la planta completa genere 6 mega watts es necesario un flujo de biogás de 3000 m³ por hora.

5.2.3 DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y DE SU GENERACIÓN CON METANO

A partir de estudios realizados previamente se han determinado valores de flujos de biogás requeridos para ciertas aplicaciones específicas. Sin embargo, se deben considerar previamente los siguientes aspectos:

- La potencia demandada en una casa promedio de 5 personas es de 1.5 Kilo watt, incluyendo los equipos y dispositivos básicos en un hogar como luminarias, refrigeradora, licuadora, televisor y radio, entre otros.
- Un metro cúbico de biogás con la concentración adecuada de metano, puede producir 6.25 Kilo watts de energía eléctrica.
- Bajo las condiciones adecuadas es posible producir 9 pies cúbicos de biogás conteniendo entre un 60 y 70% de metano, a partir de una libra de desechos sólidos.
- Para producir un flujo continuo de 3000 metros cúbicos por hora de biogás, son necesarias 6 millones de toneladas de desechos sólidos en descomposición.
- En San Salvador se producen 53,537 toneladas de basura por mes.
- En El Salvador, los municipios se han agrupado en 4 tipologías en base a la Producción Per Cápita (PPC) de desechos sólidos. Estas tipologías son:

Tipología	Promedio PPC (Kg/Hab/día)
1	1.11
2	0.94
3	0.53
4	0.69
5	0.55

Tabla 5.2.3 Producción Per Cápita (PPC) promedio por tipología.

- A nivel nacional la producción per cápita de desechos sólidos municipales es de 0.64 kg./persona/día y en San Salvador es de 0.90 kg./persona/día.

6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A partir de la información recolectada, tanto de las fuentes primarias como secundarias, se realizan los siguientes análisis:

1. Sabiendo que en El Salvador, en promedio, un hogar está conformado por 5 personas y que en el departamento de San Salvador, cada habitante produce al día 0.90 kilogramos de desechos sólidos, podemos determinar lo siguiente:

Producción de basura por hogar en San Salvador al día:

$$0.90 \frac{\text{kilogramos}}{\text{persona}} \text{ día} \times 5 \text{ personas} = 4.5 \frac{\text{kilogramos}}{\text{día}}$$

2. Realizando las conversiones respectivas se puede determinar que la cantidad de biogás que se genera a partir de la producción de basura diaria por cada hogar en San Salvador.

Conversiones:

$$9 \text{ pie}^3 \equiv 0.25485 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ lb} \equiv 0.45359 \text{ kg}$$

Producción diaria de biogás (60-70% metano) de un hogar, a partir de los desechos sólidos:

Si con 1 libra de desechos sólidos se pueden obtener 9 pies cúbicos de biogás, con la producción diaria de desechos sólidos se obtendría de biogás:

Desarrollando una relación de proporción, mediante una interpolación lineal se obtiene:

$$x = \frac{0.45359 \text{ kg} \quad 0.25485 \text{ m}^3}{4.5 \text{ kg} \quad x} = 2.5283 \text{ m}^3$$

3. Conociendo que a partir de 1 metro cúbico de biogás se puede obtener una generación de 6.25 kilo watts, entonces se puede determinar la generación de energía eléctrica producto del biogás de un hogar en San Salvador.

Generación de energía eléctrica, por hogar, a partir del biogás producido:

$$6.25 \frac{KW}{m^3} \times 2.5283 m^3 = 15.80 KW$$

4. Considerando que 14,129 hogares en San Salvador no cuentan con el recurso de la energía eléctrica, y realizando un análisis global de dicha situación, se puede determinar que:

Generación de energía eléctrica, de los hogares sin energía eléctrica, a partir del biogás producido:

$$15.80 \frac{KW}{hogar} \times 14,129 hogares = 223,238.2 KW$$

5. La demanda eléctrica promedio de un hogar es de 1.5 Kilo watts, analizando globalmente los hogares sin energía eléctrica se tendría que:

Demanda promedio de los hogares sin energía eléctrica:

$$1.5 \frac{KW}{hogar} \times 14,129 hogares = 21,193.5 KW$$

A partir de estos cálculos, se retoma la matriz de congruencia para validar las hipótesis planteadas:

Problema	Hipótesis	Enunciado de la hipótesis	Variables	Definición	Indicadores	Análisis de los indicadores	Validación de la hipótesis
<p>Suplir la demanda energética de las comunidades del Departamento de San Salvador que no cuentan con el recurso de la energía eléctrica, mediante la fuente alternativa del metano.</p>	General	<p>La cantidad de desechos sólidos en los acopios de basura de las comunidades del Municipio de San Salvador que no cuentan con el recurso de la energía eléctrica, producen el volumen técnicamente necesario de biogás, para suplir la demanda energética de dichas comunidades.</p>	<p><u>Dependiente:</u> Volumen de biogás producido. <u>Independiente:</u> Cantidad de desechos sólidos producidos por la comunidad.</p>	<p>Volumen de biogás: Son los metros cúbicos de gas que se generan a partir de una cantidad específica de basura. Cantidad de desechos sólidos: Es el valor en peso de los desechos sólidos producidos (Ej.: 1 tonelada). Cantidad de energía eléctrica producida: Es el valor de watts o vatios que se resulta a partir del proceso de generación utilizando como fuente el metano. Demanda energética: Es la cantidad de watts o vatios que consumen todos los equipos y dispositivos eléctricos que se utilicen.</p>	<p>- Metros cúbicos de biogás por día - Kilogramos de desechos sólidos por día</p>	<p>(1) Con 1 metro cúbico de biogás se genera 6.25 KW, cantidad que es mayor a 1.5 KW que es la demanda promedio de un hogar. (2) Con la producción de desechos sólidos de un hogar de 4.5 kg/día se generan 2.5283 metros cúbicos de biogás, cantidad mayor a la necesaria para suplir la demanda de energía eléctrica.</p>	Válida
	Específica	<p>La demanda energética de un hogar puede ser suplida con la generación de energía eléctrica mediante metano, producido por los desechos sólidos del mismo.</p>	<p><u>Dependientes:</u> Volumen de biogás producido y cantidad de energía eléctrica producida. <u>Independiente:</u> Cantidad de desechos sólidos producidos y demanda energética.</p>	<p>- Metros cúbicos de biogás por día - Kilogramos de desechos sólidos por día - Watts o vatios de los equipos instalados</p>	<p>- Metros cúbicos de biogás por día - Kilogramos de desechos sólidos por día - Watts o vatios de los equipos instalados</p>	<p>- Metros cúbicos de biogás por día - Kilogramos de desechos sólidos por día - Watts o vatios de los equipos instalados</p>	Válida

Se concluye que ambas hipótesis planteadas son **VÁLIDAS**.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- La generación de energía eléctrica a partir de metano es una alternativa no solo de suplir la demanda energética de una población, sino que de aminorar el impacto ambiental que los rellenos sanitarios causan, aprovechando sus productos y disminuyendo su contaminación.
- Generar electricidad a partir de la basura es factible técnicamente, ya que la fuente de materia prima es prácticamente inagotable.
- En el proceso de generación de electricidad a partir de metano, debe considerarse el aspecto del impacto ambiental que los rellenos sanitarios causarían y el manejo que debe dárseles para que disminuir la contaminación que se produzca.
- La producción de desechos sólidos es técnicamente recomendable para obtener la cantidad de biogás necesario para la generación de la energía eléctrica necesaria para suplir la demanda energética de los hogares que en la actualidad no cuentan con este recurso.

7.2 RECOMENDACIONES

- Para el mejor aprovechamiento del metano contenido en el biogás, en el proceso de generación de energía eléctrica, es necesario asegurarse que las condiciones en el proceso de descomposición de los desechos sólidos sean las adecuadas, ya que es de considerar que en el transporte del biogás y posteriormente en la generación se producen pérdidas hasta del 70% del metano, por lo que para mantener la producción de electricidad constante es primordial contar con un flujo igualmente constante de este gas.

- Los equipos y materiales utilizados en el transporte del biogás y posteriormente en el proceso de generación de energía eléctrica deben ser los adecuados para evitar pérdidas del gas y del producto terminado, ya que como este proceso es dependiente de las condiciones externas, deben tomarse las precauciones necesarias para evitar dichas pérdidas.
- Se recomienda dar seguimiento a este tipo de proyectos de investigación que beneficien a las comunidades que no cuentan con el recurso de la energía eléctrica, para que a la mayor brevedad posible puedan tener acceso a él. Aunque el presente estudio se limitó a los hogares sin servicio eléctrico del departamento de San Salvador, es importante que se extienda a los demás departamentos, sobre todo aquellos que están considerados en extrema pobreza, ya que con este factor de por medio, es mucho más difícil que las comunidades pertenecientes a dichos municipios y departamentos, tengan acceso a la energía eléctrica.

8. PROPUESTA

Después de llevar cabo las investigaciones respectivas del proceso de generación de energía eléctrica a partir del metano, y específicamente en la parte de medición, que es el objeto de estudio del presente trabajo, se propone lo siguiente:

1. Respetando las normativas de la Ley de Medio Ambiente vigentes en el país (decreto N° 237, vigente a partir de marzo del 2007), se deben elegir los lugares óptimos para utilizarlos como rellenos sanitarios, ya que las condiciones externas son primordiales en el proceso de descomposición de los desechos sólidos y por ende en la producción del biogás.

Se debe considerar sobre todo que estos lugares no causen contaminación a las comunidades circundantes a ellos y al medio ambiente.

2. Para llevar a cabo las mediciones de las emisiones de metano es necesario implementar un proceso equivalente al descrito en el presente trabajo, como el siguiente:
 - a. Una vez construido el relleno sanitario con todas las especificaciones técnicas recomendadas para su operación, se debe instalar una tubería que provenga de su interior, y preferiblemente desde la parte más profunda del mismo. Esta tubería puede ser de PVC o flexible, de alta presión, de un diámetro de 1 a 2 pulgadas, dependiendo del flujo que se tendrá de gas.



Tubos PVC alta presión



Tubos flexible alta presión

- b. Instalada la tubería se le acopla el medidor de flujo (ver Anexo 1), como se mostró anteriormente, para determinar la magnitud del biogás que está circulando. Actualmente en el mercado, los medidores de flujo son digitales.



- c. Como parte final del proceso de medición, se debe hacer pasar el biogás a través de un analizador de gases por radiación infrarroja (ver Anexo 2), para determinar que la concentración de metano sea la adecuada para el proceso de generación de energía eléctrica.



RECOMENDACIONES

- La tubería de transporte debe ser la adecuada para evitar pérdidas de gas y así contar con mediciones más exactas.
- Debido a que los costos de los equipos de medición son elevados (medidores de flujo oscilan entre los \$ 1,800.00 a \$ 2,700.00, y los analizadores de gases, entre los \$ 9,000.00 a \$ 15,000.00), se recomienda buscar el apoyo o patrocinio económico de entidades que están orientadas a este rubro o temática, para su adquisición, ya que sin ellos no se pueden realizar las mediciones respectivas en los puntos de interés.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ BROWN, Norman. *Recursos Energéticos Renovables*. 1ª ed. México: El Cid Editor, S.A., 1978.
- ✓ DE JUANA, José, et al. *Energías Renovables para el desarrollo*. 1ª ed. 2ª reimpr. España: Thomson Editores, 2003.
- ✓ OCHOA, Ricardo. Tesis: Estudio y Diseño de una planta de gas metano a partir de estiércol. San Salvador: Universidad José Simeón Cañas, 1980.
- ✓ *Atlas Sociodemográfico. Censo de Vivienda y Población 2007, El Salvador*. San Salvador: Dirección General de Estadísticas y Censos, 2007.
- ✓ FROBISHER, Martin. *Elementos de Bacteriología*. 5ª ed. Salvat Editores S.A.
- ✓ *Segundo Censo Nacional de desechos sólidos municipales*. San Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2006.
- ✓ LÓPEZ, Gustavo y GARCÍA, Xochitl. *Análisis de un sistema de generación de energía eléctrica mediante basura doméstica para una casa-habitación en la población de Mexicali, B.C. México* [en línea]. 1ª ed. México, 2006. [citado 12 de diciembre de 2006]. Disponible en internet: <<http://www.revistaciencias.com/publicaciones/EEyVAVyEvvmmDAXjCS.php>>
- ✓ *Estadísticas de desechos sólidos El Salvador 2010* [en línea]. 1ª ed. San Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010. [citado 13 de abril de 2010]. Disponible en internet: <<http://www.opinandoenelsalvador.com/wp-content/uploads/2009/06/estadisticasdesechosolidoselsalvador2010.pdf>>

- ✓ *Funcionamiento del motor de combustión interna* [en línea]. 1ª ed. Colombia: Biblioteca Luis Ángel Arango del Banco de la República. [citado 2 de octubre de 2010]. Disponible en internet: <<http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ciencias/sena/mecanica/gas-preconversion-vehiculos/gaspre5a.htm>>

- ✓ *¿Cuáles son las principales fuentes emisoras de gas metano?* [en línea]. 1ª ed. [citado 4 de diciembre de 2012]. Disponible en internet: <<http://www.tuimpacto.org/origen-del-metano.php>>

- ✓ Sitio oficial del *Consejo Nacional de Energía*. Ministerio de Economía, El Salvador. Disponible en internet: <<http://www.cne.gob.sv/>>

- ✓ Sitio oficial de la *Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones*. El Salvador. Disponible en internet: <<http://www.siget.gob.sv/>>

- ✓ Sitio oficial del *Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. El Salvador. Disponible en internet: <<http://www.marn.gob.sv/>>

ANEXOS

ANEXO 1

Medidores de flujo



Especificaciones

Es un medidor de flujo con una alta precisión del sensor. Varias opciones de salida de la pantalla y métodos seleccionados. Puede ser utilizado en los campos de

Características:

Pérdida de presión: baja

Precisión popularmente: 1.0%, especial de calibrado: 0.5%,

Velocidad de flujo: menos de 1.5m/s

Compensación de la temperatura y la presión

Con sistema de lubricación

Pantalla LCD

Pulso de salida: 4²⁰madc

Espectro: 15, 25, 40, 50, 80, 100, 150, 200, 250, 300 mm

Temperatura de los medios de comunicación: -20~60 grados centígrados

Temperatura ambiente: - 20~50 grados centígrados

Humedad: menos de 95%

Precio: \$ 1,900.00

Pliego de condiciones de operación:

Dn (mm)	El flujo normal range (nm ³ /h)						Pn (mpa)	Pérdida de presión (kpa)
	Error 1.0 %		Error 1.5 %		Error 2.5 %			
	min	max	min	max	min	max		
15					1.5	7.5	6.3	1
25					6	42		
40	8.4	84	8.4	160			1.0 1.6 2.5	
50	16.8	168	16.8	336				
80	34	340	34	680				
100	51	510	51	1020				
150	98	980	98	1960				
200	170	1700	170	2550				
250	230	2300	230	3450				
300	400	4000	400	6000				

ANEXO 2

Analizador de gases (Metano)

El siguiente es un modelo utilizado en el análisis del biogás para detectar las concentraciones de metano:



Analizador portable del metano/del oxígeno

Infrarrojo portable CH_4 y O_2 el analizador de gas mide la concentración de gas de CH_4 de acuerdo con tecnología de NDIR y la concentración de O_2 de acuerdo con ECD. El principio de NDIR se basa en la medida de la intensidad del espectro de absorción de la longitud de onda de la luz infrarroja a través de un gas, la intensidad de la atenuación de dependiente de la luz en la concentración de gas.

Este producto se utiliza para detectar la concentración de CH_4 y O_2 producido en el gas del biogás y del terraplén. Los usos principales son: digestión anaeróbica de las plantas del biogás, depuradoras de aguas residuales, digestión del lodo, bio instalaciones de producción del metano, vertederos, etc.

Características:

Puede medir la concentración de CH_4 de acuerdo con NDIR, concentración de O_2 de acuerdo con ECD simultáneamente.

- Bomba incorporada del muestreo
- Exhibición grande del LCD
- Interfaz RS232
- Cálculo opcional del N_2
- Trabajos sobre adoptante y la batería de la CA.

Especificaciones:

Marca: Contech Instruments

Modelo: CIDGA-P-CH4/O2

Gases de la medida: CH₄ (NDIR) y O₂ (ECD)

Gama de medición: CH₄: el 0~100%, O₂: el 0~25%

Resolución: 0.01%

Exactitud: CH₄ : +/-2%FS y O₂: +/-3%FS

Requisito del gas del muestreo: Libre del polvo, del vapor de agua y del aceite

Flujo: 0.7~1.2 litros/min, bomba incorporada del muestreo del gas

Presión de entrada: 2kPa~50kPa

Tiempo de reacción: 15 segundos.

Registración de datos: 1500 sistemas máximos de 6 datos.

Fuente de alimentación: CA 220+/-10%V, 50Hz, batería con el cargador interno

Temperatura: 0 ~500 °C

Higrometría: el 85%

Presión de aire ambiente: 86~108kPa

Dimensiones: 380x140x255 (milímetro)

Peso: 5kg

Precio: \$ 10,000.00