



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD DE POSGRADOS

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN OPCIÓN
AL GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN GESTIÓN DE
ENERGÍAS**

TEMA:

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE
BIOGÁS EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SALCEDO DURANTE
EL AÑO 2015. PROPUESTAS PARA UN APROVECHAMIENTO
SOSTENIBLE.**

Autor:

ING. ALBÁN Castellanos, Edwin Daniel

Tutor:

PhD. RODRÍGUEZ Barcenás, Gustavo

LATACUNGA – ECUADOR

Mayo – 2016



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS
Latacunga – Ecuador**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente informe en consideración de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Ing. Edwin Daniel Albán Castellanos, con el título de tesis: **“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SALCEDO DURANTE EL AÑO 2015. PROPUESTAS PARA UN APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Mayo del 2016

Para constancia firman:

.....
Msc. Ángel León
PRESIDENTE

.....
PhD. Juan José La Calle
MIEMBRO

.....
PhD. Vicente Córdova
MIEMBRO

.....
PhD. Héctor Laurencio
OPOSITOR

CERTIFICACIÓN DE VALIDACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor de la Maestría en Gestión de Energías, nombrado por el Honorable Consejo Académico de Posgrado.

CERTIFICO:

Que: Analizado el Proyecto de Tesis, presentado como requisito previo a la aprobación y desarrollo de la investigación para optar por el grado de Magíster en Gestión de Energías.

El problema de la investigación se refiere a:

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SALCEDO DURANTE EL AÑO 2015. PROPUESTAS PARA UN APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE.

Presentado por el Señor Ing. Edwin Daniel Albán Castellanos con C.I.: 050281048-4

Sugiero su aprobación y permita continuar con los trámites correspondientes.

Latacunga, Mayo de 2016

PhD. Gustavo Rodríguez B.

RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS

El proyecto de tesis de maestría denominado “EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SALCEDO DURANTE EL AÑO 2015. PROPUESTAS PARA UN APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en las páginas correspondientes, cuya fuente se incorpora en la bibliografía.

Consecuentemente, este trabajo es de mi autoría.

En virtud de la declaración me responsabilizo del contenido, veracidad, alcance científico del proyecto de tesis, en mención.

Latacunga, Mayo del 2016.

.....
Ing. Albán Castellanos Edwin Daniel

0502810484

AGRADECIMIENTO

A Dios todopoderoso, quien hace posible que se cumplan todos nuestros objetivos, al GAD Municipal del Cantón Salcedo, por su intermedio al departamento de Gestión Ambiental por todos los permisos e información valiosa y confidencial compartida para el desarrollo del presente trabajo, así también al personal que diariamente labora en el Relleno Sanitario por su apoyo constante.

Un Agradecimiento especial al PhD. Gustavo Rodríguez Barcena, por su acertada dirección e invaluable consejos durante el tiempo que ha durado la ejecución de esta investigación.

Ing. Edwin Albán C.

DEDICATORIA

A mi esposa Marcela por su apoyo incondicional durante todo este período de preparación y aprendizaje, a mis dos hijos Danny y Daniela por alimentar día tras día el amor en nuestro hogar, a mi madre Carmita y a mi Abuelita Olguita, por todos sus consejos y enseñanzas en el diario vivir.

Ing. Edwin Albán C.

INDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DE VALIDACIÓN DEL TUTOR.....	ii
RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DEDICATORIA	v
INDICE GENERAL.....	vi
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE ECUACIONES.....	xi
ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 1.....	7
1.1 MARCO TEORICO	7
1.1.1 La biomasa	7
1.1.1.1 Clasificación de la biomasa.....	7
1.1.1.2 Aprovechamiento de la biomasa	8
1.1.2 Sitios de disposición final de residuos urbanos.....	10
1.1.2.1 Composición física, química de residuos urbanos	10
1.1.2.1.1 Composición física.....	10
1.1.2.1.2 Composición química	11
1.1.2.2 Caracterización y desviación de residuos urbanos.....	11
1.1.3 Biogás.....	13
1.1.3.1 Producción de biogás	13

1.1.3.2 Evolución de la composición del biogás	15
1.1.3.3 Captación de biogás	16
1.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.2.1 Antecedentes de estudio	17
1.2.2 Fundamentación legal y Ambiental	22
1.2.2.1 Fundamentación legal para el uso de energías alternativas	22
1.2.2.2 Ambiental - Sección segunda Ambiente sano.....	23
1.3 BASES TEÓRICAS PARTICULARES DE LA INVESTIGACIÓN	24
1.3.1 Generalidades del Relleno Sanitario del Cantón Salcedo	24
1.3.1.1 Descripción de las instalaciones del relleno sanitario.....	25
1.3.1.1.1 Área administrativa de talleres.....	25
1.3.1.1.2 Instalaciones fijas	25
1.3.2 Medidor de turbina tipo Vortex.....	26
1.3.2.1 Consideraciones generales del medidor	27
1.3.3 Modelo de proyección biogás Ecuador	28
Capítulo 2.....	32
2. METODOLOGÍA	32
2.1 Diseño de la investigación	32
2.1.1 Modalidad de la investigación	32
2.1.2 Tipo de Investigación	32
2.1.3 Caracterización del biogás	33
2.1.3.1 Acumulador de biogás	35
2.1.3.2 Compresor de biogás.....	36
2.1.3.3 Medidor de flujo tipo Vortex	36
2.1.3.4 Instrumentación y tuberías	37
2.1.3.5 Generador de energía	37
2.1.3.6 Mediciones	38
2.1.3.7 Modelamiento	39
2.1.4 Determinación de variables.....	44
2.1.4.1 Operacionalización de variables	44
Capítulo 3.....	46
3. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	46
3.1 Caracterización de los residuos que ingresan al relleno sanitario	46
3.2 Potencial energético de biogás extraído en el relleno	46
3.3 Caracterización del biogás	56

3.4 Proyección de la producción de biogás en el relleno sanitario del cantón Salcedo, utilizando el modelo biogás Ecuador	59
Capítulo 4.....	69
4. LA PROPUESTA.....	69
4.1 Título de la propuesta.....	69
4.2 Justificación.....	69
4.3 Objetivos de la propuesta	69
4.4 Estructura de la propuesta	70
4.5 Desarrollo de la propuesta.....	70
4.5.1 Primera propuesta.....	71
4.5.1.1 Evaporador tipo flash	71
4.5.2 Segunda propuesta	76
4.5.2.1 Sistema de generación.....	77
4.5.3 Selección de la mejor propuesta.....	82
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 Uso de la biomasa	9
FIGURA 1.2 Composición óptima de biogás en una celda de relleno sanitario..	16
FIGURA 1.3 Ubicación Relleno Sanitario Jachaguango	24
FIGURA 1.4 Rosemount 8800D Series Vortex Flowmeter.....	27
FIGURA 1.5 Montaje del medidor de flujo	27
FIGURA 1.6 Placa de conexionado del medidor de flujo	28
FIGURA 2.1 Proceso de medición del biogás	34
FIGURA 2.2 Vista panorámica del sitio de disposición final.....	34

FIGURA 2.3 Acumulador de biogás.....	35
FIGURA 2.4 Compresor de biogás	36
FIGURA 2.5 Medidor de flujo tipo Vortex	37
FIGURA 2.6 Generador eléctrico Gutemberg	37
FIGURA 2.7 Pozo de venteo pasivo normal (a) y modificado (b)	38
FIGURA 2.8 Sistema de extracción de biogás.....	39
FIGURA 2.9 Inicio de la aplicación modelo biogás Ecuador.....	40
FIGURA 3.1 Tendencia de medición de un día Pozo 1	48
FIGURA 3.2 Tendencia diaria Pozo 1	49
FIGURA 3.3 Tendencia de la medición de un día Pozo 2	51
FIGURA 3.4 Tendencia diaria Pozo 2	52
FIGURA 3.5 Tendencia de la medición de un día Pozo 3	54
FIGURA 3.6 Tendencia diaria Pozo 3	55
FIGURA 3.7 Tendencia de medición diaria 3 pozos	55
FIGURA 3.8 Toma de muestra para cromatografía.....	57
FIGURA 3.9 Medición de porcentaje de CO ₂ en campo	57
FIGURA 3.10 Resultados de porcentaje de CO ₂ de la prueba en campo	58
FIGURA 3.11 Datos de composición promedio del biogás por sitio	58
FIGURA 3.12 Datos iniciales del modelo	59
FIGURA 3.13 Datos ingresados en el modelo.....	60

FIGURA 3.14 Toneladas de desechos captadas en el sitio de disposición final...	61
FIGURA 3.15 Proyección de generación y recuperación de biogás del Relleno Sanitario del Cantón Salcedo	68
FIGURA 4.1 Evaporador tipo flash	72
FIGURA 4.2 Tablero de control del evaporador	74
FIGURA 4.3 Lámpara Sylvania tipo Jeta	80

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tabla de cálculo de valores k y Lo	41
Tabla 2.2 Características climatológicas del Cantón Salcedo.....	41
Tabla 2.3 Eficiencia del sistema de recolección	42
Tabla 2.4 Aprovechamiento sostenible del biogás.....	45
Tabla 2.5 Potencial Energético del biogás	45
Tabla 3.1 Caracterización de desechos sólidos que ingresan al relleno sanitario .	46
Tabla 3.2 Medición de biogás en un día Pozo 1	47
Tabla 3.3 Tendencia de producción de biogás diaria Pozo 1	48
Tabla 3.4 Medición de biogás en un día Pozo 2	50
Tabla 3.5 Tendencia de producción de biogás diaria Pozo 2	51
Tabla 3.6 Medición de biogás en un día Pozo 3	53
Tabla 3.7 Tendencia de producción de biogás diaria Pozo 3	54

Tabla 3.8 Cromatografía del biogás	56
Tabla 3.9 Proyección de generación y recuperación de biogás, para el relleno sanitario del Cantón Salcedo	66
Tabla 4.1 Características del evaporador de lixiviados.....	72
Tabla 4.2 Características del motor-generator propuesto.....	77
Tabla 4.3 Elementos para el sistema de tratamiento de biogás.....	78
Tabla 4.4 Características de lámparas para iluminación	81
Tabla 4.5 Costos de los equipos a implementar	81
Tabla 4.6 Comparación Evaporador de biogás Vs Caldera a diesel	82
Tabla 4.7 Comparación generador a biogás Vs tarifa empresa eléctrica	83
Tabla 4.8 Análisis de las propuestas	84

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1 Modelo de decaimiento de Primer Orden	29
--	----

ANEXOS

Anexo 1 Cromatografía de biogás del pozo 1	91
Anexo 2 Cromatografía de biogás del pozo 2	93
Anexo 3 Cromatografía de biogás del pozo 3	95

RESUMEN

Debido a la contaminación ambiental que existe actualmente, el ser humano ha buscado nuevas fuentes de energías alternativas para satisfacer sus necesidades. El relleno sanitario del cantón Salcedo – Ecuador, es el centro de estudio, ya que existe un desaprovechamiento del potencial energético del biogás producido. Implementando un sistema de extracción se captó un promedio de 4100 pies cúbicos estándar SCFD ($116\text{m}^3 \text{ día}^{-1}$) de biogás. Utilizando la aplicación del modelo biogás Ecuador diseñado por la EPA US, para el año 2015 existe una producción de biogás de $192 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Las cromatografías del biogás realizadas, indican en promedio un contenido de Metano (CH_4) 53%, Dióxido de carbono (CO_2) 43%, Nitrógeno (N) 2% y el resto de componentes menores al 2%, con un poder calorífico de 515 BTU ft^{-3} . Con los resultados obtenidos se propone utilizar el recurso en un sistema de evaporación de lixiviados con una capacidad de 150 L h^{-1} como primera opción. Y como propuesta alternativa, la implementación de un sistema de generación eléctrica de 10kW para la iluminación del sitio de disposición final.

ABSTRACT

Due to the high pollution that currently exists, the human being has searched new sources of alternative energy to satisfy their needs. The sanitary landfill in Salcedo – Ecuador, its place of study, due to the fact that, there is a waste of potential energy of biogas generated. Implementing an extraction system was possible to capture an average of 4100 Standard Cubic Feet Day SCFD ($116 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$). With the application of Biogas Ecuador Model developed by EPA US, for the year 2015 exist a production of biogas of $192 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. The Chromatography of biogas shows an average of Methane (CH_4) 53%, Carbon Dioxide (CO_2) 43%, Nitrogen (N) 2% and other components less than 2%, with a Net Heating Value 515 BTU ft^{-3} . With those results, it is proposed to use the resource in a system evaporation of lixiviates of 150 L h^{-1} of capacity as a first option. And the second proposal, to implement a power generation system of 10 kW, which could be used for lighting the final disposal site.

INTRODUCCIÓN

Situación problemática

En el mundo actual la contaminación se ha vuelto uno de los principales problemas para el medio ambiente. la generación de basura domiciliaria, es uno de los principales problemas que tiene la población. Esta contaminación además de otras han provocado la reducción del grosor de la capa de ozono, el aumento drástico de temperatura global y muchos efectos más. Si bien, estamos frente a nuevas tecnologías para un mundo mejor, la introducción al campo de producción de biogás para el uso de energía eléctrica a partir de los desechos acumulados en los rellenos sanitarios es una gran alternativa (Guerrero, Gerardo, & Gallegos, 2010).

En respuesta al compromiso internacional sobre producción y consumo sostenible, en América Latina y el Caribe se han iniciado una serie de acciones tendientes a fortalecer la estrategia regional con vistas a la sostenibilidad a partir de la modificación de sus modos de producción y consumo. Por tal razón durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, se dio forma a la producción y el consumo sostenibles en la Agenda 21. En ese documento se establecía que “las principales causas de que continúe deteriorándose el medio ambiente mundial son las modalidades insostenibles de producción y consumo, particularmente en los países industrializados, que son motivo de grave preocupación y que agravan la pobreza y los desequilibrios” (ONU, 2010).

LMOP (Landfill Methane Outreach Program) desarrolló el Modelo de Biogás Ecuador para ayudar a operadores y dueños de rellenos sanitarios a evaluar la viabilidad y los beneficios en la captación y uso del biogás como fuente de energía. El modelo fue calibrado basado en la experiencia obtenida mediante la ejecución

de dos estudios de prefactibilidad y ensayos de bombeo de gas llevados a cabo en el relleno Las Iguanas en Guayaquil y relleno Pichacay en Cuenca. adicionalmente a los informes de evaluación de tres otros sitios. Los parámetros del modelo reflejan los altos contenidos orgánicos y de humedad en los desechos de Ecuador (EPA, Enviroment Protection Agency, 2009).

El relleno sanitario del cantón Salcedo se encuentra ubicado en el sector de Jachaguango. Está en funcionamiento hace siete años y su proyección de operación es para 30 años. En la actualidad se capta en promedio 18 toneladas diarias de basura. Existen 6 pozos o teas para incinerar el biogás de los cuales solo 3 están operativos, ya que los otros se encuentran taponados. Actualmente existen 8 pozos adicionales pero aún no emanan biogás ya que son parte de la segunda etapa de captación de residuos. Surge la necesidad de determinar el potencial energético que se tiene en el relleno sanitario, para darle un uso dependiendo de la capacidad de producción que en la actualidad existe y con una proyección que se obtendría en el futuro.

Justificación de la investigación

Es un hecho que en toda sociedad existe la generación de desechos orgánicos, siendo los rellenos sanitarios, quienes permiten su acumulación. Generalmente, los desechos sólidos municipales se optan por la incineración con o sin recuperación de energía. La basura orgánica enterrada en un relleno sanitario sufre un proceso de descomposición mediante el cual se produce el biogás formado por metano (CH_4) en un 50 a 70 %, bióxido de carbono(CO_2) en un 25% a 30%, Hidrógeno (H) en menos de 5% y oxígeno(O_2) en menos del 5% (Guerrero, Gerardo, & Gallegos, 2010).

En un relleno sanitario existe una buena producción de metano, estos gases son enviados a la atmósfera normalmente contribuyendo al efecto invernadero, “Es altamente tóxico, 22 veces más nocivo que el CO_2 ” (Camargo & Velez, 2009). Este elemento no está siendo aprovechado, y por su fácil combustión se lo puede utilizar en un proceso térmico. Evaluar el potencial de producción de biogás que

existe en el relleno sanitario del cantón Salcedo es lo que se plantea en esta investigación. Para que en base a la información que se obtenga como resultado se planteen propuestas sostenibles para aprovechar la inevitable e inagotable materia prima que se tiene y que a futuro incrementará.

El Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Salcedo ha facilitado el desarrollo de esta investigación, permitiendo el ingreso a las instalaciones y compartiendo información para el desarrollo de la misma.

Objeto de estudio de la investigación

El potencial energético de biogás que se produce en el relleno sanitario del cantón Salcedo.

La formulación del problema de investigación

¿Desconocimiento del potencial energético del biogás que se produce en el relleno sanitario del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi para su aprovechamiento sostenible?

Campo de acción del objeto de estudio

Eficiencia energética del biogás que se produce en el relleno sanitario del cantón Salcedo.

Objetivo general de la investigación

Evaluar el potencial energético del biogás que se produce en el relleno sanitario del cantón Salcedo, a partir de la aplicación de métodos de medición y modelado para su aprovechamiento en un proyecto sostenible.

Objetivos específicos

- Caracterizar los residuos que ingresan al relleno sanitario, utilizando la información de la operación diaria, para determinar el porcentaje de materia de la que está compuesto el mismo.

- Medir la cantidad de biogás que se puede extraer en las condiciones actuales, implementando un sistema de tuberías y medidores, para cuantificar y proponer sus posibles aplicaciones.
- Realizar análisis de cromatografía del biogás, extrayendo muestras de los pozos existentes, para determinar su composición y poder calorífico.
- Proyectar la producción de biogás en el relleno sanitario, utilizando el modelo biogás Ecuador, para conocer la producción que se obtendrá durante su tiempo de operación.
- Proponer un sistema de aprovechamiento térmico sostenible del biogás, basados en los resultados obtenidos durante el estudio, para darle un uso racional a este importante recurso.

Hipótesis

El estudio para determinar el potencial de biogás en el relleno sanitario del cantón Salcedo, permitirá conocer la producción que en la actualidad existe y proyectarla a futuro, además con un sistema de extracción y medición cuantificar este recurso y proponer alternativas para su uso sostenible.

Sistemas de tareas por objetivos

- Caracterizar los residuos que ingresan al relleno sanitario.

Se ha solicitado al GAD Municipal de Salcedo, la caracterización de los residuos que ingresan al relleno sanitario con sus porcentajes.

- Medir la cantidad de biogás que se puede extraer en las condiciones actuales, implementando un sistema de tuberías y medidores, para cuantificar y proponer sus posibles aplicaciones.

Se ha realizado modificaciones a los 3 pozos de venteo pasivo actualmente operativos, implementando un sistema de extracción, almacenamiento y medición. Se ha modelado utilizando la aplicación en Excel denominada Modelo Biogás Ecuador Versión 1.1, diseñado por la EPA US para conocer la capacidad de producción de biogás en la actualidad y proyectarlo hasta el cierre de operación del relleno.

- Determinar su composición y poder calorífico.

Se ha tomado muestras del biogás y se han enviado al laboratorio para su análisis de composición y poder calorífico.

- Generar una propuesta para el aprovechamiento sostenible.

Con los resultados de las mediciones y modelamiento del potencial de biogás que se han obtenido en campo, se ha sugerido una propuesta térmica sostenible para su aprovechamiento y otra como segunda alternativa para el uso de biogás.

Alcance de la investigación

Consiste en determinar el potencial de biogás que existe en el relleno sanitario del cantón Salcedo. Realizando mediciones en los pozos de venteo pasivos existentes y determinando la cantidad de biogás que puede ser extraída en las condiciones actuales. Con la información obtenida sugerir una propuesta térmica sostenible para su uso. Tomar muestras para determinar la composición del biogás y su poder calorífico. Caracterizar los desechos y determinando datos adicionales utilizar la aplicación en Excel Modelo Biogás Ecuador de la EPA US, proyectar la producción del biogás durante la vida útil del relleno.

En forma general se describe el contenido de cada uno de los capítulos que está compuesta la presente investigación

En el capítulo 1 se describe el marco teórico que soporta la investigación, haciendo referencia a las variables dependientes e independientes.

En el capítulo 2 se detalla la metodología aplicada, es decir el diseño de la investigación, las modalidades, tipos, y las variables dependiente e independiente.

En el Capítulo 3 se presentan los resultados obtenidos producto del análisis, medición y modelación para determinar el potencial de biogás.

En el Capítulo 4 se exponen las propuestas sostenibles para el uso adecuado del biogás.

Capítulo 1

1.1 MARCO TEORICO

1.1.1 La biomasa

Biomasa y materia viva son la misma cosa, considerada como fuente de energía. Es el conjunto de materia orgánica, tanto de origen animal como vegetal, que puede ser utilizada con fines energéticos. La biomasa es una fuente de energía renovable, de hecho es la fuente de energía renovable que más aporta en la actualidad a las necesidades de la humanidad. La energía de la biomasa proviene del Sol y se fija en las plantas a través del proceso de la fotosíntesis. En este proceso las células vegetales son capaces de formar compuestos orgánicos a partir del CO₂ presente en el aire y de otros elementos simples, aprovechando la energía procedente del Sol. De las sustancias formadas, que llamamos carbohidratos, se puede extraer energía bien quemándolas directamente, convirtiéndolas en un líquido combustible como el alcohol o el aceite, o incluso transformándolas en gas (SOLARIZATE.ORG, 2012).

1.1.1.1 Clasificación de la biomasa

Según (Morales L. A., 2009) la biomasa se clasifica en:

- *Cultivos energéticos*

Que comprenden:

- Especies leñosas en turnos de 3-4 años y con 10.000 pies/Ha.
- Especies herbáceas. Miscanthus, Cynara.
- Cultivos para producir etanol (trigo, maíz, patata, sorgo azucarero).
- Cultivos para producir biodiesel (colza, girasol, lino oleaginoso, Entre otras).

- ***Excedentes agrícolas***

Sirven para completar los cultivos no alimentarios y sustituir parcialmente los biocarburantes y los combustibles fósiles (aceite de algodón, aceite de soja, aceite de cártamo, etc.) en su caso.

- ***Residual***

Que comprende:

Residuos forestales: Residuos de tratamientos silvícola y de cortes de pies maderables.

Residuos agrícolas: Incluye los restos de podas, rastrojos de cultivos, etc.

Residuos de industrias forestales: Representa los aserraderos, fábricas de pasta y papel, etc.

Residuos de industrias agrícolas: Comprende los bagazos, orujos, cáscaras, vinazas, huesos, etc.

Residuos biodegradables: Se refiere a los purines, estiércoles, lodos de depuradoras, huesos, sebos, etc.

1.1.1.2 Aprovechamiento de la biomasa

Los usos de los diferentes tipos de biomasa se pueden clasificar principalmente en dos, térmicos y eléctricos, como se puede ver en la figura 1.1, la generación de energía térmica y eléctrica obtenida mediante la combustión de biomasa sólida, sin olvidar que a través la combustión de biogás también podemos generar ambos tipos de energía. Mediante los biocarburantes se obtiene energía aprovechable para hacer funcionar los motores de combustión térmica transformándola en energía mecánica (Agencia provincial de la energía de Burgos, 2012).

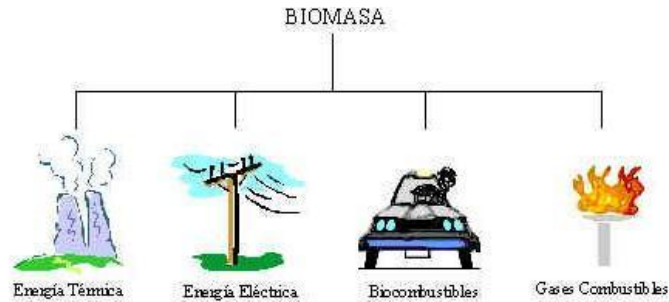


FIGURA 1.1 Uso de la biomasa

Fuente: (Agencia provincial de la energía de Burgos, 2012)

La obtención de energía eléctrica a través de la quema de biomasa sólida se realiza generalmente a gran escala (plantas mayores de 2MW). Esto es debido principalmente a que las instalaciones necesarias requieren una gran inversión económica. Además, los rendimientos globales obtenidos son mayores cuanto mayor sea la potencia generada (Agencia provincial de la energía de Burgos, 2012).

Según el (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE, 2009), las aplicaciones térmicas con producción de calor y agua caliente sanitaria son las más comunes dentro del sector de la biomasa. Puede también alimentar un sistema de climatización (calor y frío) del mismo modo que si se realizara con gas, gasóleo o electricidad. La producción térmica puede realizarse mediante:

- Estufas, normalmente de pellets o leña, que calientan una única estancia y normalmente actúan simultáneamente como elementos decorativos.
- Calderas de baja potencia para viviendas unifamiliares o construcciones de tamaño reducido.
- Calderas diseñadas para un bloque o edificio de viviendas, que actúan como calefacción centralizada.
- Centrales térmicas que calientan varios edificios, instalaciones o grupo de viviendas.

1.1.2 Sitios de disposición final de residuos urbanos

El problema de los residuos sólidos municipales están presentes en la mayoría de las ciudades y pequeñas poblaciones por su inadecuada gestión. Tienden a agravarse en determinadas regiones como consecuencia de múltiples factores, entre ellos el acelerado crecimiento de la población y su concentración en áreas urbanas. El desarrollo industrial, los cambios de hábitos de consumo, el uso generalizado de envases y empaques de plásticos, así como de materiales desechables (Benavides, 2009).

1.1.2.1 Composición física, química de residuos urbanos

La composición de la basura, tanto física como química se establece de acuerdo con las posibles alternativas de manejo y disposición final. Al igual que la producción es importante conocer la composición, ya que las características de las basuras determinarán a su vez las características de la recolección y el transporte.

1.1.2.1.1 Composición física

Según (Benavides, 2009), no existe una norma definida sobre la clasificación física de los residuos sólidos. Normalmente se adopta la composición física por porcentaje en peso. La técnica estadística utilizada en un muestreo para la caracterización física de las basuras puede ser la indicada para el muestreo de proporciones. Una clasificación física de los desechos sólidos podría ser considerada en los siguientes puntos:

- Desechos de alimentos (materia orgánica)
- Papel
- Cartón
- Plásticos
- Textiles
- Caucho

- Madera
- Vidrio
- Metales ferrosos
- Metales no ferrosos
- Otros

1.1.2.1.2 Composición química

Conocer la composición química de los residuos sólidos es fundamental para aceptar o rechazar un tratamiento con el que puedan ser procesadas las basuras. Al igual que la composición física, tampoco existe una norma oficial para la toma de la muestra ni para efectuar los correspondientes análisis químicos. El proceso para la toma de muestra y de trituración debe hacerse lo más rápido posible para evitar variaciones en la humedad. Los análisis químicos más comúnmente utilizados en la basura según (Benavides, 2009) son:

- Humedad
- pH
- Carbono
- Nitrógeno
- Fósforo
- Potasio
- Poder calorífico,
- entre otros.

1.1.2.2 Caracterización y desviación de residuos urbanos

Según (Orbe, 2012), la finalidad de un estudio de caracterización de residuos es identificar las fuentes, características y cantidades de residuos generados. Los

estudios de caracterización de residuos son difíciles de llevar a cabo por el gran número de fuentes y el número limitado de muestras de residuos que se pueden analizar. Los pasos típicos implicados en un estudio de caracterización de residuos son los siguientes:

Recoger información existente: El uso de la información existente pueden ahorrar dinero, tiempo, y servir como referencia. Como fuentes de información existentes se pueden incluir:

- Estudios y documentos anteriores de gestión y planificación de residuos sólidos
- Archivos de compañías de recolección de residuos o archivos de instalaciones de procesamiento (por ejemplo, instalaciones de compostaje, de incineración, etc.)
- Archivos de vertederos e instalaciones de transferencia o estudios anteriores sobre evacuación de residuos
- Información de comunidades similares
- Departamento de Obras Públicas
- Empresas de servicio público o informes de comercio al por menor.
- Archivos de empleo de la comunidad (Cámara de Comercio).

Identificar fuentes de generación de residuos y las características de los residuos tales como:

- Fuentes domésticas
- Fuentes comerciales
- Fuentes institucionales
- Construcción y demolición
- Servicios municipales
- Plantas de tratamiento de agua y aguas residuales
- Fuentes industriales
- Fuentes agrícolas

1.1.3 Biogás

En la investigación “Valoración del biogás en un relleno sanitario” (Schmidt, 2009), manifiesta que, el biogás producido por la degradación anaeróbica de los residuos representan un yacimiento de energía importante, en forma de metano (CH_4). La destrucción del metano en CO_2 por incineración es útil para reducir el efecto invernadero del biogás así como para disminuir los olores. La valoración energética necesita técnicas de captación del biogás (pozos, drenes, coberturas, entre otras) que pueden ser sencillas, realizados con tecnologías apropiadas. Finaliza indicando que, la valoración en forma térmica es la más rentable y simple si hay grandes usuarios en la vecindad (fábricas de ladrillos o tejas, destrucción de carne o de desechos infecciosos, lavanderías industriales, desecación de productos). Si no es el caso, la transformación en electricidad se puede hacer también pero necesita un mantenimiento continuo y profesional.

1.1.3.1 Producción de biogás

Según (Colmenares & Santos, 2009), el período de tiempo que se requiere para que los residuos sólidos domésticos se degraden y se produzca biogás dependerá del número de organismos presentes en la basura, nutrientes, temperatura, acidez (pH), contenido de humedad, cobertura y densidad de compactación:

- *Contenido de humedad en residuos sólidos*

El contenido de humedad es uno de los parámetros más determinantes en un relleno sanitario. Si este aumenta levemente se acelera el proceso de generación de gas considerablemente. De ahí que en los rellenos sanitarios recirculan los líquidos percolados para adicionar humedad a la basura a pesar de no ser lo recomendable, o incluso agregar agua, disminuyendo al mismo tiempo los impactos ambientales de su descarga y los costos de tratamiento. El clima es uno de los elementos determinantes del contenido de humedad en un relleno, y su efecto depende en alguna medida de las características de la cobertura y el grado de impermeabilidad de la base del relleno.

- ***Nutrientes de los residuos sólidos***

Aunque los organismos anaeróbicos se desarrollan naturalmente entre la basura. Estos también se encuentran en los excrementos humanos y de animales. Por lo que el proceso de generación de gas se acelera cuando en un relleno también se disponen los lodos de los sistemas de tratamiento de aguas servidas.

- ***Mezcla de residuos sólidos***

En un relleno sanitario, al mezclar la basura se logra poner en contacto los organismos anaeróbicos con su fuente alimenticia. Lo mismo hace la recirculación de líquidos percolados.

- ***Cobertura***

La cobertura periódica y sistemática de la basura evita que esta entre en contacto con el aire permitiendo la generación de condiciones anaeróbicas que la degradan y producen biogás. Mientras antes se den estas condiciones más rápido comienza a degradarse la basura.

- ***Compactación***

La compactación de la basura genera el contacto con los nutrientes y la humedad. Se logra eliminar el oxígeno que se encuentra presente, lo que a su vez tiende a reducir el tiempo en que se inicia la biodegradación anaeróbica.

Algunos autores, indican que en los vertederos o basurales abiertos, en los cuales la basura no es compactada ni cubierta, ocurre una baja descomposición anaeróbica. Puesto que la basura se encontraría en contacto con el aire primando un proceso de oxidación. En estos casos la descomposición de la basura ocurre en condiciones aeróbicas donde se generaría en su mayor parte CO₂, agua y prácticamente nada de metano. Bajo condiciones anaeróbicas entonces, el metano y el CO₂ son los principales gases que se generan en un relleno sanitario. (Colmenares & Santos, 2009).

1.1.3.2 Evolución de la composición del biogás

El autor (Camargo & Velez, 2009), describe que el proceso de descomposición de residuos orgánicos resulta complejo y ocurre en diversas etapas de acuerdo con las condiciones del medio, determinadas por la temperatura, la presencia de oxígeno, las características del residuo y la edad del relleno sanitario, principalmente. Así, identifica cinco fases durante el proceso:

- ***Producción de biogás Fase I***

Aeróbica, que inicia inmediatamente después de la disposición de los residuos sólidos en el relleno sanitario. En la que las sustancias fácilmente biodegradables se descomponen por la presencia de oxígeno y se propicia la formación de dióxido de carbono (CO_2), agua, materia parcialmente descompuesta registrando temperaturas entre 35 y 40 °C.

- ***Producción de biogás Fase II***

Aeróbica con el desarrollo de condiciones anaeróbicas en la que ocurre el proceso de fermentación. Actúan los organismos facultativos con la producción de ácidos orgánicos y reduce significativamente el pH. Son condiciones propicias para la liberación de metales en el agua y la generación de dióxido de carbono (CO_2).

- ***Producción de biogás Fase III***

Anaeróbica, resultado de la acción de organismos formadores de metano (CH_4), que en las condiciones adecuadas, actúan lenta y eficientemente en la producción de este gas mientras reducen la generación de dióxido de carbono (CO_2).

- ***Producción de biogás Fase IV***

Metanogénica estable, que registra la más alta producción de metano oscilando entre 40-60% de metano (CH_4) en volumen.

- **Producción de biogás Fase V**

Estabilización, la producción de metano (CH_4) comienza a disminuir y la presencia de aire atmosférico introduce condiciones aeróbicas en el sistema.

En la figura 1.2 se muestra el proceso de la evolución del biogás.

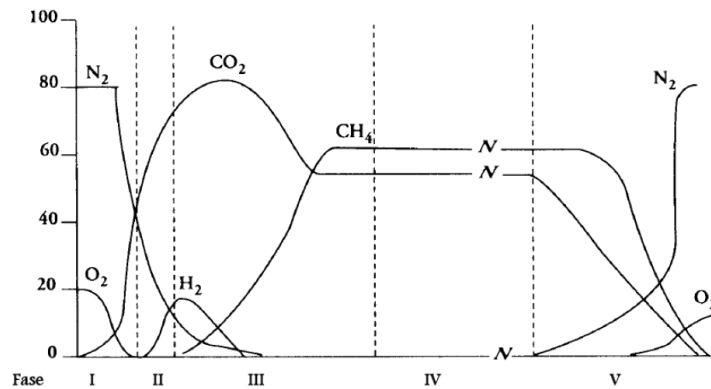


FIGURA 1.2 Composición óptima de biogás en una celda de relleno sanitario
Fuente: (Camargo & Velez, 2009)

1.1.3.3 Captación de biogás

En la publicación sobre captura y quema de biogás (Pablo Zamonsky, 2010) describe los componentes para la captación los cuales se describirá a continuación:

- **Drenes de captación**

Pueden ser pozos verticales en rellenos de al menos 10 metros de profundidad o drenes horizontales en zonas del relleno de menor profundidad. Su construcción puede ser durante la operación del propio relleno de residuos, o posterior al cierre de cada celda.

- **Líneas de conducción**

El biogás se dirige desde los cabezales de los drenes de captación hasta la central de desgasificación. Pueden instalarse enterradas o tendidas sobre la tapada final del relleno.

- ***Bombas de lixiviado***

Extraen el lixiviado de los pozos, son usualmente neumáticas para evitar riesgos de explosión. Se pueden instalar en un pozo contiguo al de biogás o en el mismo pozo. El lixiviado contenido en el relleno dentro del radio de influencia del pozo es conducido con el biogás hacia el mismo, por lo que si el relleno tiene mucha humedad, afecta al radio de influencia y el pozo se tiende a inundar provocando un sello hidráulico.

- ***Central de desgasificación***

Consta de un colector al que ingresan las líneas de conducción a través de válvulas manuales o automáticas, cuya apertura es función de la calidad del biogás (contenido de CH₄ y O₂). La depresión en este colector se debe mantener constante para estabilizar el sistema. Esto se logra por medio de una válvula reguladora o de un control de velocidad de la soplante. Para la succión se instalan aspiradores centrífugos, cuya presión de salida depende si el biogás se destina a quema o a generación eléctrica.

La instalación eléctrica debe ser antiexplosión, contiene los elementos de control, caudalímetros, manómetros, tomas de muestras, purgas entre otros.

1.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

Existen varias investigaciones realizadas dentro y fuera del Ecuador sobre la temática planteada, de los cuales se citarán los de mayor relevancia, así como la fundamentación legal y ambiental que promueve a la realización de este trabajo.

1.2.1 Antecedentes de estudio

En América Latina y el Ecuador se han realizado varias investigaciones sobre el uso del biogás en rellenos sanitarios, con distintos tipos de aplicaciones y sobre todo haciendo énfasis en la reducción del impacto ambiental. Se va a citar

algunos estudios relacionados que han sido de gran aporte para el desarrollo de esta investigación.

(Vallejo, 2008), realizó una evaluación del relleno sanitario y estudio de prefactibilidad para la recuperación y la utilización del biogás en el relleno sanitario El Navarro Cali, el cual expresa:

Que su estudio se fundamenta en la búsqueda de alternativas rentables de aprovechamiento de biogás, que puede ser utilizado como combustible y al mismo tiempo en la disminución de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Para tal efecto el estudio de viabilidad, permita definir el potencial de rentabilidad de los gases generados en el sitio de disposición final y su real aporte a la disminución de estos gases contaminantes. Y concluye expresando que con base en este estudio, el biogás que se genera en Navarro se puede aprovechar mediante el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto, donde se pronostica la inversión por parte de empresas multinacionales.

(Methate_to_Markets, 2008), realizó un estudio en el relleno sanitario Doña Juana Colombia, por lo cual expresa que:

El modelo de recuperación de biogás fue preparado basado en los índices de disposición, la composición de los residuos, y la climatología del sitio. Los resultados del modelo indican que el relleno sanitario es un buen candidato para un proyecto de recuperación y utilización de biogás y concluye diciendo que, dadas las proyecciones de biogás, la evaluación preliminar indica que Doña Juana podría tener varias alternativas o combinación de alternativas al aprovechamiento del biogás tales como uso directo en la evaporación de lixiviado,

generación de energía eléctrica, conversión a gas natural y combustión.

(Monreal, 2009), en su estudio de recuperación de biogás de rellenos sanitarios en Santiago de Chile nos muestra que:

En la ciudad de Santiago, la recuperación se hace de acuerdo a dos modalidades diferentes. La mayor parte de la recuperación se hace desde dos rellenos sanitarios recientemente cerrados por agotamiento de su vida útil, pero que sin embargo continúan produciendo biogás en cantidades suficientes para hacer rentable su recuperación. El gas obtenido desde estos dos rellenos satisface el 40% de la demanda de gas de cañería que se distribuye en la ciudad. El gas recuperado del tercer relleno se conduce directamente a una industria de alimentos y satisface los requerimientos de energía para la alimentación de calderas y la producción de agua caliente para los procesos productivos. En la ciudad de Valparaíso, el gas recuperado desde el relleno sanitario se conduce, al igual que en el caso de la ciudad de Santiago, mediante tuberías hasta la fábrica de gas, desde donde se distribuye, previa mezcla con el gas fabricado en la planta, a través de la red de tuberías para consumo doméstico e industrial. El gas recuperado del relleno sanitario satisface, en este caso, un 30% de la demanda de gas de cañería de la ciudad.

La (EPA, Environment Protection Agency, 2009), realizó dos estudios importantes para determinar el potencial y aprovechamiento del biogás en el Ecuador, realizando un modelo en el cual expresan que:

El modelo fue recalibrado basado en la experiencia obtenida mediante la ejecución de dos estudios de prefactibilidad y ensayos de bombeo de gas llevados a cabo en el relleno Las

Iguanas (Guayaquil) y relleno Pichacay (Cuenca) en marzo y abril 2007. Adicionalmente a los informes de evaluación de tres sitios, Chabay (Azogues), El Valle (Cuenca) y Loja.

También se han identificado varios estudios para la utilización del biogás generado residuos en rellenos sanitarios como por ejemplo en la investigación: Estudio de factibilidad para implementar una central eléctrica aprovechando el biogás generado por el relleno sanitario del Inga, el autor (Crisanto, 2013) manifiesta que:

Los recursos de biomasa en el Ecuador son bastante grandes y extensos al ser un país con gran capacidad de recursos agrícolas y forestales. los cuales pueden generar gran cantidad de desechos estos se los puede usar en la generación de energías alternativas, el trabajo concluye con la implementación del sistema que en la actualidad está operando con normalidad.

(Lalvay_Vidal, 2008), en su estudio realizado en el relleno sanitario, Minas de Huascachaca del cantón Santa Isabel, Provincia del Azuay, operativo desde 2008, indica que:

El objetivo de su proyecto fue presentar una alternativa a la quema directa del biogás y aprovechar sus características inflamables a fin de producir energía eléctrica mediante el uso de un motor de combustión interna y su propio generador. El estudio realizado, indica que un proyecto de generación eléctrica a pequeña escala, en el relleno sanitario de Minas de Huascachaca, es factible desde el punto de vista técnico y ambiental, pero limitado desde la óptica financiera. En definitiva, se trata de un proyecto técnicamente factible, social y ambientalmente beneficioso pero que desde el punto de vista financiero requiere además una adecuada gestión técnico-administrativa y hasta política a fin de que pueda ser

implementado con éxito. Las condiciones existentes en el Ecuador y la región, en torno a este tipo de proyectos, permiten avizorar un futuro promisorio.

(Microphilox, 2009), en su documento: Aprovechamiento energético de biogás de depósito controlado mediante microturbinas y eliminación biológica de ácido sulfhídrico y siloxanos dice que:

La viabilidad de una instalación de valorización energética de biogás puede verse comprometida a causa de la presencia en el flujo de gas de determinados elementos como el ácido sulfhídrico y los siloxanos, los cuales ocasionan graves daños a los equipos de aprovechamiento aumentando los costes de mantenimiento y disminuyendo la eficiencia del sistema hasta el punto de poder hacer inviable la operación. Existen diversas tecnologías de depuración de biogás siendo el carbón activo la más utilizada por su sencillez y eficiencia, a pesar de su elevado coste y del inconveniente de la formación de un residuo que debe ser adecuadamente gestionado. En los últimos años, los métodos de depuración biológica han conseguido importantes avances y actualmente llegan a alcanzar rendimientos similares a los de los métodos físico-químicos. Así, la utilización de filtros biológicos para la limpieza del biogás permitiría reducir este coste de operación, ya sea por sustitución integral del filtro de carbón activo o bien como pretratamiento a dicho filtro, con el consiguiente aumento de los periodos de recambio del carbón activo.

No existen investigaciones realizadas en el relleno sanitario de Jachaguango sobre el tema planteado, sin embargo (Jiménez, 2012) en su investigación denominada “Propuesta para el manejo de lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi” detalla que:

En la actualidad el relleno sanitario del cantón Salcedo no presenta un manejo ambiental adecuado de los residuos generados por la acumulación diaria de basura, en ese estudio hace un enfoque en los lixiviados, que por su naturaleza causan problemas de contaminación en los recursos agua aire y suelo, y estos ayudan a la proliferación de malos olores.

Además señala que el propósito de la investigación es, “Diseñar una planta de tratamiento, para controlar los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Salcedo”. El propósito final de la investigación es fomentar las actividades de mejora en el relleno sanitario con la aplicación de una planta de tratamiento. Desde otro punto de vista, la investigación se basa en proponer una solución efectiva para los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Salcedo.

Todos estos estudios y propuestas de utilización del biogás generado en los rellenos sanitarios, muestran que existe un gran interés de conocer la cantidad de biogás se produce en cada uno de los lugares de estudio y lo más importante brindar un uso a este recurso que no está siendo correctamente manejado.

1.2.2 Fundamentación legal y Ambiental

1.2.2.1 Fundamentación legal para el uso de energías alternativas

TITULO VII

REGIMEN DEL BUEN VIVIR

Sección séptima

Biosfera, ecología urbana y energías alternativas

Art. 413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías

renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

Art. 414.- El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo.

Art. 415.- El Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y de uso del suelo, que permitan regular el crecimiento urbano, el manejo de la fauna urbana e incentiven el establecimiento de zonas verdes. Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos. (Asamblea Constituyente, 2008)

1.2.2.2 Ambiental - Sección segunda Ambiente sano

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos

persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional. (Asamblea Constituyente, 2008)

1.3 BASES TEÓRICAS PARTICULARES DE LA INVESTIGACIÓN

Se describen el lugar en donde se va a realizar la investigación así como el detalle de los elementos que se utilizarán durante su desarrollo.

1.3.1 Generalidades del Relleno Sanitario del Cantón Salcedo

El relleno sanitario de Jachaguango se encuentra ubicado en el cantón Salcedo Provincia de Cotopaxi a una altura de 2680 msnm. En la figura 1.3 se muestra la ubicación de relleno sanitario.

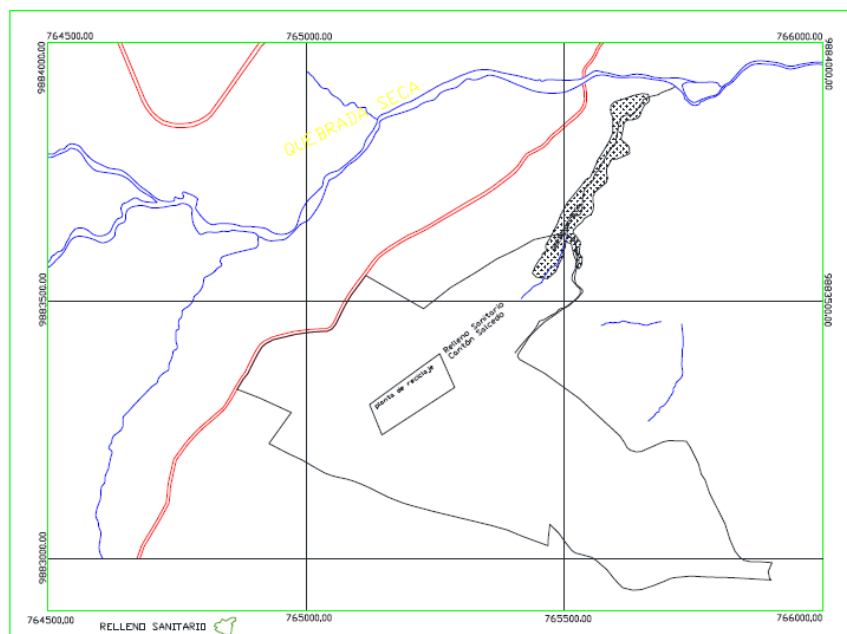


FIGURA 1.3 Ubicación Relleno Sanitario Jachaguango
Fuente: (GAD Municipal Cantón Salcedo, 2015)

1.3.1.1 Descripción de las instalaciones del relleno sanitario

El relleno sanitario ha sido diseñado con áreas que faciliten la operación diaria en el lugar, toda la información sobre datos técnicos que se describirán a continuación han sido obtenidos del (GAD Municipal Cantón Salcedo, 2015).

1.3.1.1.1 Área administrativa de talleres

Cuenta con espacio para oficinas e instalaciones de empleados, un taller mecánico para realizar el mantenimiento y chequeo de vehículos, así como para guardar los mismos. En el diseño de las estructuras se tomaron en cuenta el movimiento de gases y un lugar estable para un mejor confort. Existe provisión de energía eléctrica en el área administrativa, sin embargo en el sitio de disposición final no se cuenta con este recurso, posee agua potable, alcantarillado, teléfono. Se ha considerado la construcción de una fosa séptica, como sistema de desagüe de aguas de uso doméstico, ya que las mismas no constituirán un caudal excesivo.

1.3.1.1.2 Instalaciones fijas

Dentro de las instalaciones fijas, para el relleno sanitario del cantón Salcedo, se han considerado áreas destinadas para la administración, arborización, servicios complementarios (11,856.49 m²), para reciclaje en Compostaje (14,363.30 m²), para Celda hospitalaria y desechos peligrosos (8,966.89 m²), para disposición de desechos sólidos (61,677.41 m²), existe un área de cerca viva de 17,618.50 m², y el cerramiento perimetral tiene una longitud de 2,223.7 m con respecto al volumen de material de cobertura que puede extraerse, el valor es de 19,005.75 m³, pero deberá ubicarse sitios de extracción de material para poder realizar el cubrimiento de los desechos hasta el final de la vida útil del relleno sanitario. A continuación se realiza una descripción de su contenido:

Cerramiento perimetral de malla: Para evitar el acceso a personas, animales así como para delinear los límites del mismo y cubrir al relleno

(especialmente en el perímetro donde se ubica el área de desechos hospitalarios y peligrosos deberá ser cerramiento con mampostería). Existe una cerca viva, a lo largo del lindero que colinda con la vía principal, con especies vegetativas propias de la zona, además una cerca o cerramiento interior de malla, ya que deben estar estas áreas totalmente aisladas. Tiene una longitud de 3,523.7 m y se ha considerado una altura de 2 m. Puerta de ingreso y salida.

Balanza pesa camiones y caseta de control: la balanza soporta un peso de 40 toneladas. La plataforma es lo suficientemente larga para pesar todos los ejes simultáneamente. Si las cargas están entre 10 a 20 toneladas, la exactitud de la balanza deberá estar máxima entre 10 kilogramos. Periódicamente requiere ser revisada con los estándares de exactitud dados por el Instituto nacional de normalización (INEN). La información de pesajes y control de ingreso de vehículos es llevado manualmente por un operador que esta las 24 horas del día.

1.3.2 Medidor de turbina tipo Vortex

El Instrumento utilizado para totalizar la cantidad de biogás en el relleno sanitario es el medidor de flujo tipo Vortex de la serie 8800D de Rosemount. El cual está constituido de un solo cuerpo medidor y transmisor que proporciona mediciones de flujo volumétrico que son detectados por los vórtices de los fluidos que lo atraviesan.

El cuerpo del medidor debe ser instalado en líneas de tuberías. Un sensor está localizado al final y detecta una onda senoidal debido al paso de los vórtices. El trasmisor mide la frecuencia de dicha onda y lo convierte a velocidad de flujo. En la figura 1.4 se pueden apreciar los diversos modelos de equipos de medición de flujo de la marca Rosemount.



FIGURA 1.4 Rosemount 8800D Series Vortex Flowmeter
Fuente: (Emerson-Process, 2013)

1.3.2.1 Consideraciones generales del medidor

Antes de instalar un medidor de flujo sobre cualquier aplicación, se debe considerar el tamaño del medidor (tamaño de la línea) y la ubicación. Escoger el tamaño correcto del medidor para la aplicación incrementa la rangeabilidad y minimiza las caídas de presión así como la cavitación. Una adecuada ubicación asegurará una señal más limpia y precisa (Emerson-Process, 2013).

- **Instalación del medidor**

Para la instalación son necesarios 8 pernos y tuercas así como 2 gaskets de 1 ½, en el cuerpo del medidor existe una flecha que muestra la dirección de medición o flujo, en la figura 1.5 se muestra como ensamblar el equipo.

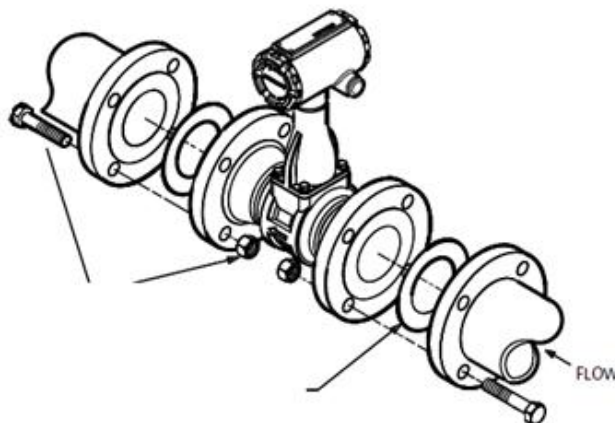


FIGURA 1.5 Montaje del medidor de flujo
Fuente: (Emerson-Process, 2013)

- **Fuente de alimentación para el medidor**

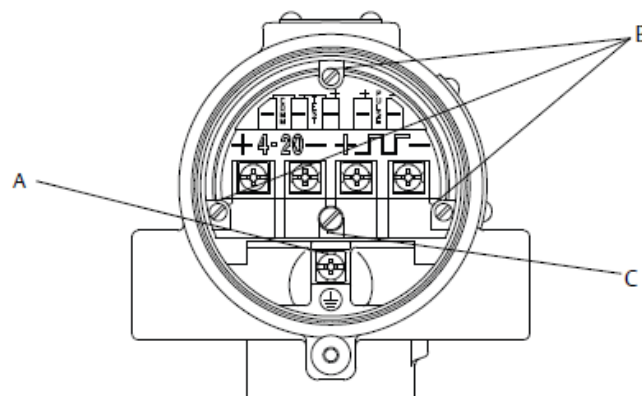
El equipo se alimenta con una tensión de 24 VDC. Una resistencia de laso de 250 ohm es requerida para intercambiar información con un equipo calibrador HART. El medidor de flujo requiere una alimentación mínima de 16.8 V a 24 mA de salida (Emerson-Process, 2013).

- **Salida Análoga del medidor**

El medidor de flujo proporciona una salida de corriente aislada DC de 4 a 20 mA, la cual es lineal a la tasa de salida.

- **Conexiones en el medidor**

Para la conexión es necesario retirar la tapa detrás del instrumento y alimentar con 24 VDC según la polaridad mostrada. Existen 4 tornillos que generalmente se utilizan para la alimentación y para la simulación de señales para la respectiva calibración. En la figura 1.6 se muestra la placa para conexionado.



A. Housing Ground Screw
B. Captive Screws
C. Transient Terminal Block Ground Tab

FIGURA 1.6 Placa de conexionado del medidor de flujo

Fuente: (Emerson-Process, 2013)

1.3.3 Modelo de proyección biogás Ecuador

Toda la información relacionada a esta aplicación se la ha descargado de la (EPA, Enviroment Protection Agency, 2009), el propósito principal del Modelo de Ecuador es proveer al Ministerio de Ambiente, Ministerio de Desarrollo Urbano y

Vivienda, municipalidades de Ecuador y algunos operadores de sitios una herramienta para evaluar la factibilidad y beneficios potenciales para captar y usar el biogás generado para recuperación de energía u otro uso directo. Para lograr este propósito, este modelo proporciona estimados de tasas de recuperación de biogás, mediante el uso de tasas de generación del mismo calculadas por el modelo y el estimado de la eficiencia del sistema de captación de gas generado, conocido como eficiencia de recolección o captación. El modelo provee los cálculos en recuperación de biogás mediante la multiplicación de la generación de gas por la eficiencia de captación estimada.

Tanto el modelo de Carbon Trade Ltd. como el modelo U.S. EPA Ecuador están basados en la ecuación 1.1. Emplea una forma de función de decaimiento exponencial de primer orden, la cual asume que la generación de biogás está en su punto más alto después de un determinado tiempo que representa el periodo previo a la generación de metano. La ecuación de decaimiento de primer orden de este modelo es de la siguiente manera:

Ecuación 1.1 Modelo de decaimiento de Primer Orden

$$Q = \sum_0^n \left(\frac{1}{\%Vol} kMKL0 e^{-k(t-tlag)} \right) \quad (1)$$

Dónde:

Q: Cantidad total de biogás generado (Metros Cúbicos Normales)

n: Número total de años modelados (Años)

t: Tiempo desde que los desechos fueron depositados (Años)

tlag: Tiempo estimado entre la disposición de desechos y la generación de metano (Años).

% vol: Porcentaje volumétrico estimado de metano en el biogás (m³).

L0: Volumen estimado de metano generado por tonelada de desecho sólido (m³).

k: Tasa estimada de decaimiento de desecho orgánico

M: Masa de desechos colocados en el lugar en año t (Toneladas).

Las dos variables de L0 y k dependen de la composición de los desechos en el sitio, sin embargo, estos son todavía basados en estimaciones y la experiencia empírica de tasas de generación de gas en sitios similares.

La variable 'k', el ritmo al que la fracción orgánica de desechos se degrada dentro de la masa de desechos, puede variar entre 0.1 y 0.01. Esta amplia variación (un factor de 10) resulta 1-2 de la disponibilidad de carbono orgánico en los desechos y depende del contenido de humedad de los mismos.

La variable L0, la cantidad de metano generado, varía de 60 m³/ton a tan alto como 120 m³/ton para basura doméstica común. En más desechos inertes este valor puede ser significativamente más bajo. El factor potencial de dos en esta variable depende principalmente de la cantidad de carbono orgánico dentro de los desechos y la disponibilidad de éste. Por lo tanto en ambas variables, la disponibilidad de carbono orgánico desempeña un papel clave en la cantidad de biogás generado y esta es una función de la condición de los desechos. Al contrario, el importe de carbono orgánico es una función del tipo de desechos

Determinar los valores exactos para ambos k y L0 requiere un conocimiento detallado de los insumos de desechos en el sitio, las condiciones biológicas del vertedero. Las aportaciones de desechos de comunidades específicas, las condiciones ambientales, el historial generado durante un número de años de extracción de gas de sitios similares pueden utilizarse para ajustar empíricamente los valores de k y L0.

El modelo de Ecuador requiere información específica del sitio para producir cálculos de generación. El modelo proporciona valores predeterminados para k y L0. Los valores predeterminados están basados en datos específicos obtenidos de

vertederos en Ecuador como resultado de la cooperación técnica de la Asociación M2M con el país.

EPA reconoce que el modelar generación y recuperación de biogás con precisión es difícil debido a las limitaciones en la información disponible para los insumos del modelo. Sin embargo, mientras los nuevos vertederos están siendo construidos y operados y la información recabada sea fidedigna, el actual modelo puede ser mejorado. Además, mientras más vertederos en Ecuador desarrollan sistemas de captación y control, los datos adicionales sobre generación y recuperación de biogás estarán disponibles para calibrar el modelo y el desarrollo de valores predeterminados mejorados.

Capítulo 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Diseño de la investigación

Se recogen estructuralmente los elementos metodológicos generales que describen las distintas etapas llevadas a cabo, en base a ello se ha podido dar forma al modelo de la investigación facilitando el entendimiento y brindando una guía para el desarrollo de la misma.

2.1.1 Modalidad de la investigación

Se han aplicado algunas modalidades que han permitido su desarrollo de la investigación.

- *De campo*

Se analizó la producción de biogás que se genera en el relleno sanitario del cantón Salcedo. Se cuantificó y caracterizó el potencial de biogás extrayéndolo de los pozos de venteo pasivo existentes, con el fin de esquematizar propuestas sostenibles para su aprovechamiento.

- *Bibliográfica – Documental*

Se ha utilizado documentación del GAD Municipal del Cantón Salcedo, investigaciones realizadas en el lugar, documentos, páginas de Internet relacionadas a la temática que han servido para sustentar teóricamente el problema de investigación, a través del análisis documental.

2.1.2 Tipo de Investigación

Se detallan los tipos de investigación utilizados:

- *Descriptiva*

Recolectando la información relacionada con temperatura ambiente, volumen de gas, presión en el tanque de almacenamiento y composición de biogás que se la obtendrá a partir de las cromatografías.

- *Exploratoria*

Se ha observado en el lugar de estudio, las facilidades que se tienen en cuanto a la recolección de los desechos, su control y el tratamiento que se están dando al biogás y líquidos lixiviados.

2.1.3 Caracterización del biogás

El estudio se lo ha realizado en el relleno sanitario del cantón Salcedo. Para aplicar el modelo Biogás Ecuador se requiere una serie de información como, los años de operación del relleno, tiempo total de operación, precipitación, años a modelar, la cantidad de materia orgánica que ingresan entre otras variables. Toda la información obtenida sobre el relleno sanitario ha sido proporcionada por GAD Municipal del Cantón Salcedo.

Valores de precipitación y temperatura han sido descargados de sitios web especializados.

Para caracterizar los residuos y determinar la calidad de estos, se utilizarán las bases de datos de control especializado existentes en el relleno.

Para la medición del flujo se han implementado sistemas de acoples de tuberías a un compresor, el cual ingresa el biogás hacia un acumulador para aumentar la presión para que el medidor de flujo tipo Vortex mida el volumen de captación.

En la figura 2.1 se muestra en diagrama de bloques el proceso de extracción.

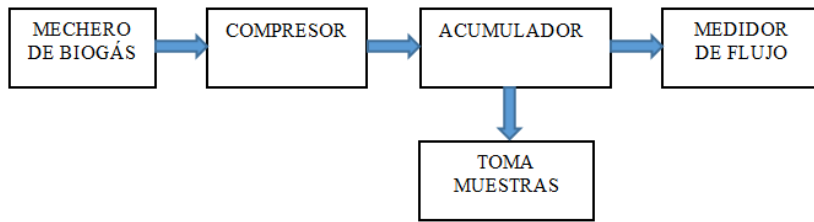


FIGURA 2.1 Proceso de medición del biogás
 Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

Se han realizado mediciones diarias durante 14 días en cada pozo disponible para obtener una media de captación de biogás. Se han tomado muestras para conocer la composición del biogás y su poder calorífico. En la figura 2.2 a y b se muestran las imágenes del relleno sanitario.



(a) (b)
FIGURA 2.2 Vista panorámica del sitio de disposición final
 Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

Los equipos utilizados en el proceso de extracción son:

- Medidor de flujo tipo Vortex ROSEMOUNT.
- Acumulador de Gas
- Generador Eléctrico
- Sistema de tuberías.
- Indicadores presión.
- Aplicación Excel para la proyección de la producción de biogás.
- GPS, ayudará a determinar la ubicación exacta del relleno sanitario.

- Cromatógrafo, que analizará el biogás y determinará la composición y su poder calorífico
- Bases de datos especializado.

2.1.3.1 Acumulador de biogás

Es un tanque elaborado con tol, el cual permite acumular el biogás a una presión promedio de 50 psi. Este elemento ha sido muy necesario ya que para poder tomar las muestras y realizar las mediciones se las debe hacer a una presión superior a los 30 psi y siendo la presión de salida del pozo demasiado baja los elementos de medición no son capaces de leer esos valores.

Un manómetro instalado en la parte superior permitió medir la presión en el interior del tanque, punto importante de referencia para la totalización del flujo de gas. En la figura 2.3 se muestra el equipo.



FIGURA 2.3 Acumulador de biogás
Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

2.1.3.2 Compresor de biogás

Para la compresión del biogás se utilizó un compresor fabricado en Francia, el cual toma el biogás del pozo a baja presión y lo ingresa al acumulador. Este equipo tiene la capacidad de comprimir hasta 150 psi.

A la descarga se instaló una válvula de venteo de condensados para evitar el ingreso al tanque de este líquido y obtener muestras más confiables para la cromatografía y la medición sea más exacta. En la figura 2.4 se muestra el equipo utilizado.



FIGURA 2.4 Compresor de biogás
Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

2.1.3.3 Medidor de flujo tipo Vortex

Para la medición de flujo se utilizó un medidor de flujo tipo Vortex. El cual contabiliza el gas captado a la descarga del acumulador. Este equipo fue pre calibrado para medir gases, ya que según sus características también puede medir líquidos.

Posee un display que muestra continuamente los valores de flujo instantáneo y flujo total medido, en la figura 2.5 se puede observar el equipo instalado en campo.



FIGURA 2.5 Medidor de flujo tipo Vortex
Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

2.1.3.4 Instrumentación y tuberías

Un sistema de tuberías con diferentes juegos de válvulas se han utilizado para la captación, medición y toma de muestras del biogás. Se utilizaron únicamente tuberías y accesorios tipo PVC que fueron suficientes para la aplicación.

2.1.3.5 Generador de energía

Debido a que en el sitio de disposición final no existe una toma de energía cercana para la alimentación de los diferentes equipos, surgió la necesidad de utilizar un generador a gasolina de la marca Gutemberg de 8.5 kW de potencia. El cual energizó al compresor y a la fuente de 110 VAC/24 VDC que alimenta al medidor de flujo. En la figura 2.6 se muestra el equipo utilizado.



FIGURA 2.6 Generador eléctrico Gutemberg
Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

2.1.3.6 Mediciones

El relleno sanitario al momento tiene disponibles 6 pozos que sirven para evacuar/quemar el biogás que se genera producto de la descomposición de la basura. Debido a los trabajos que diariamente se realizan in situ, tres de ellos han quedado taponados por la arena que cubren los residuos. Por lo que nos centraremos únicamente en los tres que actualmente están operativos. Actualmente se ha iniciado la segunda etapa de captación de basura en el relleno y no se han considerado estos nuevos pozos para el caso de estudio ya que aún no se registra presencia de biogás.

Se han realizado mediciones diarias en cada pozo durante catorce días continuos entre los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre por la disponibilidad de los equipos utilizados para la medición.

Mientras se realizaban las mediciones en un pozo, los dos restantes se encontraban quemando biogás. Para realizar las mediciones se hicieron ciertas modificaciones a los pozos de venteo pasivo, en la figura 2.7 a y b se puede apreciar lo expuesto.



(a)

(b)

FIGURA 2.7 Pozo de venteo pasivo normal (a) y modificado (b)

Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

En la figura 2.8 se muestra el sistema implementado en campo para la extracción del biogás.



FIGURA 2.8 Sistema de extracción de biogás
Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

Una vez instalado el sistema con todas las adecuaciones se realizaron las mediciones en los pozos existentes. Los datos obtenidos son a partir de las 08:00 hasta las 17:00. No se realizaron mediciones en las noches por las condiciones del lugar y por tratarse de un sistema de medición manual. Los datos totales diarios han sido calculados en base a la información obtenida.

2.1.3.7 Modelamiento

Para el cálculo de la producción de biogás generado en el relleno sanitario del cantón Salcedo se ha utilizado la Versión 1.1 del Modelo Biogás Ecuador. Es una versión mejorada de la aplicación realizada en el año 2007 del modelo de producción de biogás para estimar su generación en rellenos o vertederos de desechos en el Ecuador (Ecuador LFG Model). La aplicación se basa en una ecuación de primer orden, la cual se encuentra programada en una hoja de Excel, al abrir la aplicación la figura 2.9 nos muestra el inicio de la página.



FIGURA 2.9 Inicio de la aplicación modelo biogás Ecuador
Fuente: (EPA, Modelo Biogás Ecuador Versión 1.1, 2009)

Este modelo requiere que se ingresen datos específicos del sitio sobre los años de inicio y cierre del mismo, tasas de disposición de desechos, precipitación promedio anual y eficiencia en la captación del gas.

Para determinar los valores exactos de las variables k y L_0 se requiere un conocimiento detallado de los insumos de desechos en el sitio, las condiciones biológicas del vertedero, las aportaciones de desechos de comunidades específicas, las condiciones ambientales, etc. El historial generado durante un número de años de extracción de gas de sitios similares se puede utilizar para ajustar empíricamente los valores de k y L_0 .

Se han utilizado los datos obtenidos de los ensayos de bombeo de gas de Pichacay y Las Iguanas en 2007. En la tabla 2.1 se muestran una gama de valores de L_0 y k que están previstas en el modelo de Ecuador.

Tabla 2.1 Tabla de cálculo de valores k y Lo

Precipitación (mm/año)	k Contenido Medio de Residuos de Comida o Alimenticios ≤ 50%	k Alto Contenido de Residuos de Comida o Alimenticios ≥ 60%	LO (m ³ /tonelada métrica) Contenido Medio de Residuos de Comida o Alimenticios ≤ 50%	LO (m ³ /tonelada métrica) Alto Contenido de Residuos de Comida o Alimenticios ≥ 60%
0-249	0.04	0.043	60	62
250-499	0.05	0.053	80	83
500-999	0.065	0.69	84	87
1000-1999 o Saturado	0.08	0.085	84	87
2000+ o Saturado	0.08	0.085	84	87

Fuente: (EPA, Modelo Biogás Ecuador Versión 1.1, 2009)

La tabla de revisión define los valores de k y Lo de diferentes composiciones de desechos y de diferentes zonas de precipitación pluvial. Para el caso del cantón Salcedo según el INAMI en la estación Rumipamba se registró una precipitación anual para el año 2014 de 719.2 mm. Estos valores se muestran en la tabla 2.2, para nuestro caso de estudio tomaremos este valor referencial.

Tabla 2.2 Características climatológicas del Cantón Salcedo

M0004		RUMIPAMBA-SALCEDO							INAMHI										
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)				PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación		
		ABSOLUTAS		M E D I A S		Mensual	Máxima día	Mínima día	Máxima día	Mínima día	Media			Mensual	Suma 24hrs	Máxima en día			
ENERO	174.4	24.1	20	5.5	27							21.0	8.5				14.3	99	3
FEBRERO	115.7	23.4	5	6.1	26	21.0	9.7	14.5	99	7	44	26	79	10.5	12.7	130.0	21.2	14	16
MARZO	140.3			3.3	3	21.2	8.6	14.4					73	9.1	11.6	38.3	9.2	20	14
ABRIL	124.9	23.3	1	6.7	29	20.2	10.3	14.3	99	9	46	30	80	10.6	12.8	149.2	26.3	13	25
MAYO	140.0	24.2	17	3.8	19	20.1	9.6	14.1	99	26	29	18	77	9.8	12.2	28.3	10.8	12	16
JUNIO	142.4	22.7	6	5.4	28	19.9	9.2	13.8	99	16	43	6	78	9.7	12.0	20.0	4.8	22	12
JULIO	118.3	20.8	31	4.8	15	18.2	8.8	12.7	100	20	51	31	80	9.0	11.5	41.4	8.6	29	20
AGOSTO	174.8	23.5	19	2.4	12	20.0	7.9	13.3	99	12	38	12	73	8.2	10.9	16.8	5.2	20	11
SEPTIEMBRE	126.4	23.5	23	4.6	4	19.8	7.6	13.2	99	30	45	8	75	8.4	11.1	43.6	27.0	24	14
OCTUBRE	169.6	26.2	22	3.3	22	22.7	8.3	14.8	99	5	25	19	67	7.9	10.8	21.6	12.4	24	7
NOVIEMBRE	156.8	25.7	21			22.6	8.0	14.5	97	5	26	18	70	8.2	11.0	99.9	18.3	23	17
DICIEMBRE	134.4	22.8	6	5.1	23	20.1	9.8	14.1	99	4	42	6	79	10.1	12.4	89.7	30.4	1	22
VALOR ANUAL	1718.0					20.6	8.9	14.0					75	9.3	11.7	719.2	30.4		

Fuente: (INHAMI, 2014)

Para el punto en estudio se tiene un valor normal de precipitación anual de 719.2 mm, por lo tanto está en el rango de 500 mm a 999 mm al año. Si se toman los valores de “K” y “Lo” con valores de desechos orgánicos medios (≥ 60%), según

la tabla de caracterización obtenida en el relleno, se deberá utilizar un valor de K de 0.69 y Lo de 87.

- **La eficiencia del sistema de captación de biogás**

Para determinar la eficiencia de captación el modelo de biogás calcula cuánto biogás (o metano) está generando el vertedero. Esto no significa que todo el biogás generado pueda recolectarse. Es habitual aplicar un valor de Eficiencia de Captación que estima el porcentaje del metano generado que puede captarse.

La eficiencia de captación varía dependiendo de la construcción del sitio y el nivel de agua (lixiviado) dentro del mismo. El diseño de pozos de captación de gases también afectará la eficiencia de captación.

El modelo de Ecuador contiene una tabla de referencia con valores de eficiencia de captación predeterminados. Estos valores se utilizarán en el presente estudio.

Este modelo sugiere que pozos verticales u horizontales instalados mientras se colocan los desechos pueden poseer la mayor eficiencia de recolección. Sin embargo también se puede hacer uso de pozos de venteo pasivos.

Por otro lado este modelo también depende de la tecnología aplicada para la capa de cobertura del sitio. En la tabla 2.3 se presenta valores para la eficiencia de captación del gas

Tabla 2.3 Eficiencia del sistema de recolección

Eficiencia del sistema de recolección		
Sistema de Recolección	Arcilla Saturada/Geomembrana	Arcilla No Saturada
Pozos Verticales de Gas Perforados o Colectores Horizontales	80%	70%
Pozos de Venteo Pasivos Convertidos/Modificados (existentes)	60%	40%

Fuente: (EPA, Modelo Biogás Ecuador Versión 1.1, 2009)

Debido a que algunos sitios pueden cumplir con las condiciones de ambas columnas Arcilla Saturada o Arcilla No-Saturada dependiendo de la temporada (seca o húmeda), la eficiencia de captación debe ser calculada basada en la proporción del tiempo que la capa de cobertura espera satisfacer cada condición.

Para fines de estudio se considera una eficiencia de recolección de 70%, que es el valor aplicable en capa de cobertura de arcilla no saturada.

El relleno se encuentra operando desde el año 2009, lo que quiere decir que a la fecha tiene operando 6 años. Según el GAD municipal se espera que el relleno cierre sus operaciones para el 2035. Desde la apertura del lugar en todo este tiempo se ha observado un crecimiento anual de 0.5 % de captación de residuos anualmente. Este valor de crecimiento registrado es debido a que existe una planta de reciclaje y un hangar donde se reciben únicamente materia orgánica proveniente de plazas y mercados, por este motivo al sitio de disposición final no llegan todos los desperdicios recolectados en la ciudad.

La composición del biogás es asumida por el modelo, aproximadamente 50% de gas metano (CH_4) y 50% otros gases (Dióxido de carbono, Nitrógeno, Oxígeno, etc.), para el Relleno Sanitario del Cantón Salcedo se mantendrán estos valores que son muy aproximados acorde a las cromatografías realizadas.

Al sitio de disposición final llegan aproximadamente en la actualidad 18 ton/día, lo que quiere decir que al año (365 días) se tendrá un aproximado de 7200 toneladas al año. En los reportes diarios de peso de residuos este valor es mayor pero no todo lo recolectado va al sitio de disposición final por lo cual el valor indicado se lo tomará como referencia. Inicialmente se tenía un promedio de 16 ton/día de captación al inicio de las operaciones.

Con los datos obtenidos anteriormente, se utilizó la Versión 1.1 del modelo de producción de biogás para estimar su generación en rellenos o vertederos de desechos en Ecuador (Ecuador LFG Model) para el relleno sanitario del cantón Salcedo.

Este programa está desarrollado en Microsoft Excel, consta de tres hojas funciones de Entrada, Resultados y Gráfica.

2.1.4 Determinación de variables

Al inspeccionar el relleno sanitario del cantón Salcedo se pueden observar ciertas variables entre las más relevantes se citarán:

- No existe una cuantificación del potencial energético que se genera en el lugar, de tal forma que no es posible valorar y proporcionar propuestas térmicas sostenibles para el uso del biogás.
- Los gases que se emanan a la atmosfera producidos por los residuos que se depositan en el relleno, están contribuyendo al calentamiento global que en la actualidad es un problema mundial que se desea reducir.
- La generación de lixiviados incrementa la contaminación, lo que aumenta el riesgo de enfermedades a las personas que viven por el sector.

Analizando las variables descritas se encuentra que la causa prioritaria es que al no tener una cuantificación del potencial energético existente en el relleno, su efecto de prioridad es que no se puede dar propuestas térmicas sostenibles para el aprovechamiento del biogás.

2.1.4.1 Operacionalización de variables

En la tablas 2.4 y tabla 2.5, se describe la operacionalización de la variables en las cuales se va a trabajar en la presente investigación.

VARIABLE DEPENDIENTE: Aprovechamiento sostenible del Biogás

Tabla 2.4 Aprovechamiento sostenible del biogás

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Se refiere al uso apropiado del gas metano (CH ₄), aplicando tecnologías que permitan obtener alguna rentabilidad o reducción del impacto ambiental.	Calidad de biogás	Poder Calórico	BTU	Medición	Cromatógrafo
		Composición	%	Medición	Cromatógrafo
	Dimensionamiento de equipos	Potencia Activa/ Flujo a tratar	kW l/min	Cálculos	Ecuaciones
	Pre factibilidad	Costo	\$	Cálculos	Ecuaciones

Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

VARIABLE INDEPENDIENTE: Potencial Energético del Biogás

Tabla 2.5 Potencial Energético del biogás

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es la cantidad de la energía disponible de una fuente determinada.	Portador energético	Biomasa	kg / %	Cálculos	Ecuaciones
	Portador energético	Temperatura ambiente	°C	Medición	Termómetro
		Precipitación	mm/año	Software	Base de datos
Portador energético	Volumen de biogás extraído	m ³	Medición	Transmisor de flujo tipo Vortex	

Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

Capítulo 3

3. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Caracterización de los residuos que ingresan al relleno sanitario

Para determinar el porcentaje de materia o residuos que ingresan al relleno sanitario, se ha utilizado la información del control que se tiene in situ, la cual se la presenta en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Caracterización de desechos sólidos que ingresan al relleno sanitario

CARACTERIZACIÓN DE DESECHOS	
CATEGORIA DE DESECHO	COMPOSICIÓN %
Domésticos Orgánicos	58.66
Papel y Cartón	8.94%
Desechos de construcción	6.80%
Vidrio	5.33%
Chatarra	5.72%
Caucho	4.66%
Plásticos	2.57%
Desechos de jardín	3.44%
Madera	2.69%
Ropa Usada	0.92%
Otros	0.27%

Fuente: Personal de operaciones Relleno Sanitario Del Cantón Salcedo

3.2 Potencial energético de biogás extraído en el relleno

Se han realizado mediciones diarias durante dos semas en cada pozo. En la tabla 3.2 se muestran los valores obtenidos en el pozo 1. Las mediciones se las realizaron entre el 5 y el 18 de Octubre.

Tabla 3.2 Medición de biogás en un día Pozo 1

MEDICIÓN DIARIA DE BIOGÁS RELLENO SANITARIO SALCEDO – JACHAGUANGO				
FECHA:	05-oct-15			
POZO:	1			
Hora	Presión Acumulador (PSI)	Temperatura (°C)	Medición Totalizador SCF	Medición Totalizador m³
8:00	37	14	35	0.99
8:30	35	15	31	0.88
9:00	36	15	28	0.79
9:30	39	17	29	0.82
10:00	38	17	31	0.88
10:30	40	18	38	1.08
11:00	40	18	28	0.79
11:30	38	20	29	0.82
12:00	36	21	31	0.88
12:30	42	21	33	0.93
13:00	40	21	33	0.93
13:30	40	21	29	0.82
14:00	45	22	35	0.99
14:30	42	22	33	0.93
15:00	37	22	26	0.74
15:30	40	22	33	0.93
16:00	39	21	35	0.99
16:30	40	20	30	0.85
17:00	38	20	31	0.88
		TOTAL MEDIDO	598	1.93
		TOTAL DIARIO	1435	40.63

Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

En la figura 3.1 se puede observar la tendencia de la medición realizada durante un día en el pozo 1.

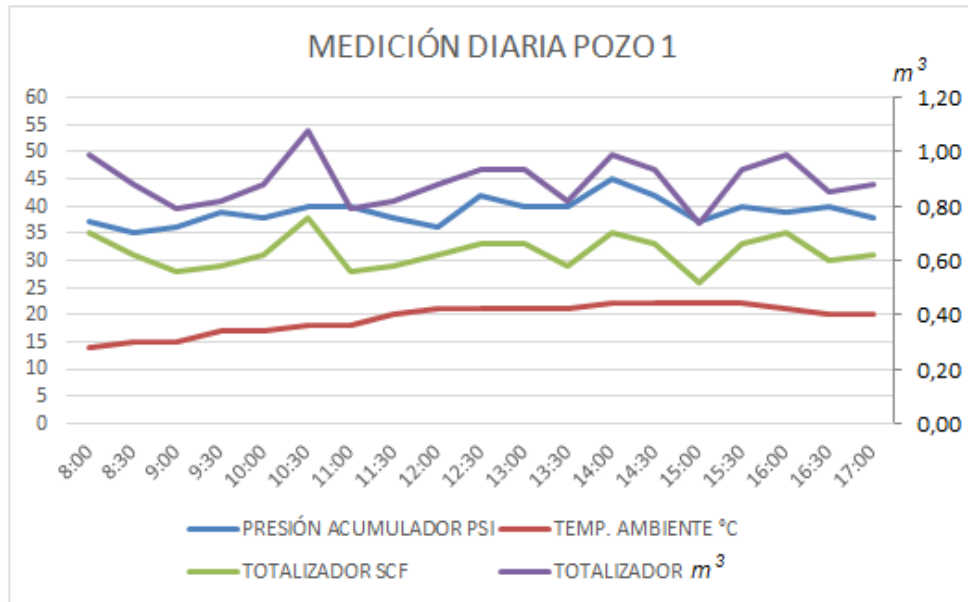


FIGURA 3.1 Tendencia de medición de un día Pozo 1
Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

En la tabla 3.3 se muestra la información de la cantidad diaria de biogás en promedio captado durante los catorce días de pruebas realizadas en el pozo 1.

Tabla 3.3 Tendencia de producción de biogás diaria Pozo 1

TENDENCIA DIARIA DE BIOGÁS RELLENO SANITARIO SALCEDO – JACHAGUANGO		
POZO	1	
FECHA	PROMEDIO DIARIO SCF	PROMEDIO DIARIO m ³
05-oct-15	1435	40.63
06-oct-15	1502	42.53
07-oct-15	1440	40.78
08-oct-15	1485	42.05
09-oct-15	1522	43.10
10-oct-15	1514	42.87
11-oct-15	1476	41.80
12-oct-15	1576	44.63
13-oct-15	1491	42.22
14-oct-15	1522	43.10
15-oct-15	1430	40.49
16-oct-15	1556	44.06
17-oct-15	1476	41.80
18-oct-15	1516	42.93

Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

En la figura 3.2 se puede apreciar la tendencia de la captación que se obtuvo diariamente en el sitio de disposición final.



FIGURA 3.2 Tendencia diaria Pozo 1
Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

Las mediciones en el pozo 2 se las realizaron a partir del 9 de Noviembre hasta el 22 de noviembre. Se hicieron adecuaciones en el pozo 2 para la captación del biogás.

En la tabla 3.4 se detallan los datos obtenidos durante la captación de biogás en un día en el Pozo 2.

Tabla 3.4 Medición de biogás en un día Pozo 2

MEDICIÓN DIARIA DE BIOGÁS RELLENO SANITARIO SALCEDO – JACHAGUANGO				
FECHA:	09-nov-15			
POZO:	2			
Hora	Presión Acumulador (PSI)	Temperatura (°C)	Medición Totalizador SCF	Medición Totalizador m ³
8:00	33	11	29	0.82
8:30	30	11	28	0.79
9:00	32	11	29	0.82
9:30	34	12	30	0.85
10:00	30	12	27	0.76
10:30	35	14	31	0.88
11:00	31	14	26	0.74
11:30	29	14	27	0.76
12:00	30	14	28	0.79
12:30	33	14	30	0.85
13:00	31	14	30	0.85
13:30	32	14	29	0.82
14:00	33	14	29	0.82
14:30	30	14	26	0.74
15:00	32	13	29	0.82
15:30	33	13	28	0.79
16:00	30	13	28	0.79
16:30	30	13	28	0.79
17:00	33	13	30	0.85
TOTAL MEDIDO			542	15.35
TOTAL DIARIO			1300	36.81

Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

En la figura 3.3 se muestra la tendencia de los datos obtenidos durante un día en el pozo 2.

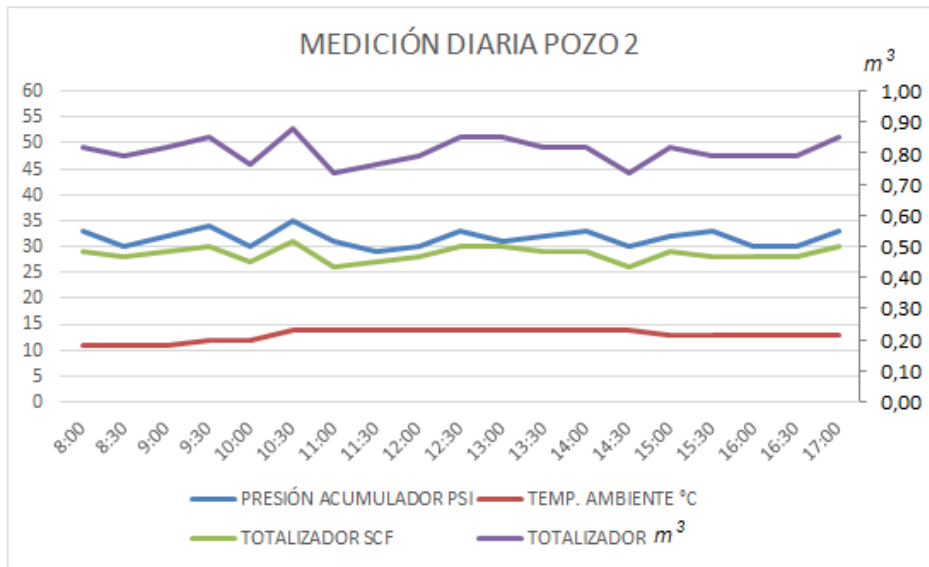


FIGURA 3.3 Tendencia de la medición de un día Pozo 2
Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

En la tabla 3.5 se muestra la información de la cantidad diaria de biogás en promedio captado durante los catorce días de pruebas realizadas en el pozo 2.

Tabla 3.5 Tendencia de producción de biogás diaria Pozo 2

TENDENCIA DIARIA DE BIOGÁS RELLENO SANITARIO SALCEDO – JACHAGUANGO		
POZO	2	
FECHA	PROMEDIO DIARIO SCF	PROMEDIO DIARIO m ³
09-nov-15	1300	36.81
10-nov-15	1322	37.43
11-nov-15	1395	39.50
12-nov-15	1332	37.72
13-nov-15	1440	40.78
14-nov-15	1343	38.03
15-nov-15	1389	39.33
16-nov-15	1425	40.35
17-nov-15	1403	39.73
18-nov-15	1422	40.27
19-nov-15	1311	37.12
20-nov-15	1321	37.41
21-nov-15	1294	36.64
22-nov-15	1331	37.69

Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

En la figura 3.4 se puede apreciar la tendencia de la captación de biogás que se obtuvo durante catorce días de captación en el sitio de disposición final correspondiente al pozo 2.

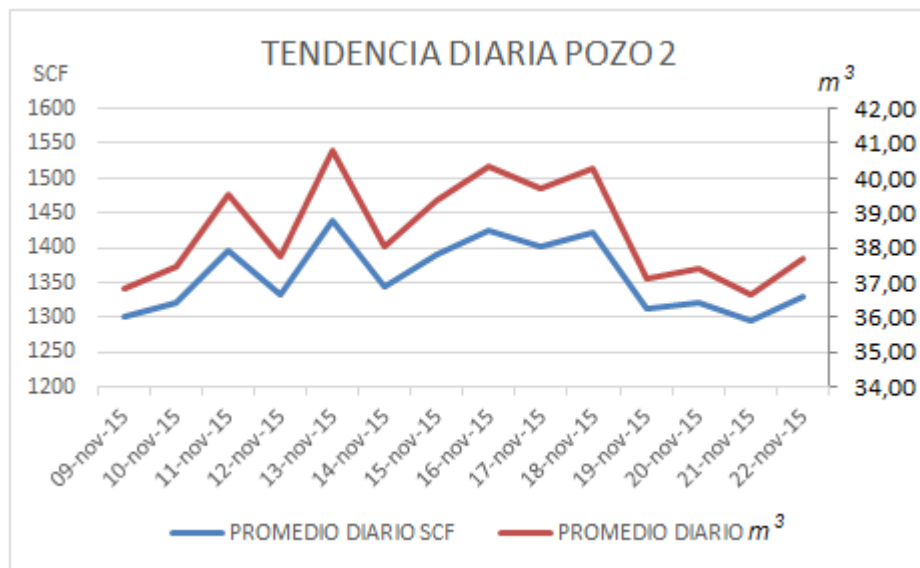


FIGURA 3.4 Tendencia diaria Pozo 2
Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

Las mediciones en el pozo 3 se las realizaron a partir del 7 de Diciembre al 20 de Diciembre.

Respecto a los otros dos pozos medidos este es del que ligeramente se pudo extraer mayor cantidad de biogás según los datos obtenidos.

En la tabla 3.6 se detalla los datos obtenidos durante la captación de biogás en un día en el Pozo 3.

Tabla 3.6 Medición de biogás en un día Pozo 3

MEDICIÓN DIARIA DE BIOGÁS RELLENO SANITARIO SALCEDO – JACHAGUANGO				
FECHA:	07-dic-15			
POZO:	3			
Hora	Presión Acumulador (PSI)	Temperatura (°C)	Medición Totalizador SCF	Medición Totalizador m ³
8:00	40	13	33	0.93
8:30	42	13	35	0.99
9:00	44	13	36	1.02
9:30	40	14	32	0.91
10:00	42	14	34	0.96
10:30	45	14	35	0.99
11:00	44	16	34	0.96
11:30	42	16	35	0.99
12:00	44	18	34	0.96
12:30	45	18	35	0.99
13:00	41	18	32	0.91
13:30	41	18	33	0.93
14:00	43	20	34	0.96
14:30	42	20	30	0.85
15:00	44	20	35	0.99
15:30	41	20	34	0.96
16:00	39	20	30	0.85
16:30	42	20	34	0.96
17:00	41	20	31	0.88
		TOTAL MEDIDO	636	18.01
		TOTAL DIARIO	1526	43.21

Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

En la figura 3.5 se puede observar en forma de tendencia los datos obtenidos durante un día en el pozo 3.

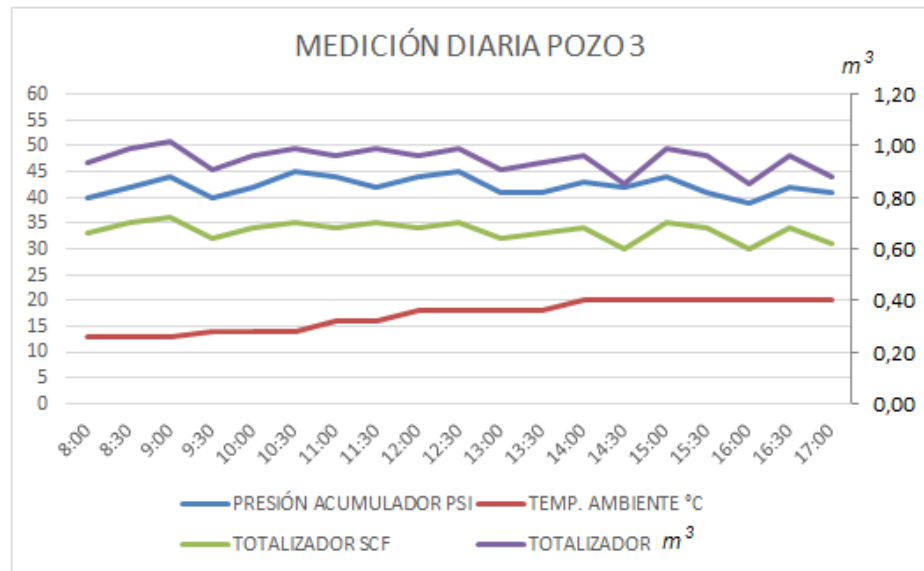


FIGURA 3.5 Tendencia de la medición de un día Pozo 3
Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

En la tabla 3.7 se muestra la información de la cantidad diaria de biogás en promedio captado durante las dos semanas de pruebas realizadas en el pozo 3.

Tabla 3.7 Tendencia de producción de biogás diaria Pozo 3

TENDENCIA DIARIA DE BIOGÁS RELLENO SANITARIO SALCEDO - JACHAGUANGO		
POZO	3	
FECHA	PROMEDIO DIARIO SCF	PROMEDIO DIARIO m ³
07-dic-15	1526	43.21
08-dic-15	1502	42.53
09-dic-15	1611	45.62
10-dic-15	1485	42.05
11-dic-15	1522	43.10
12-dic-15	1514	42.87
13-dic-15	1590	45.02
14-dic-15	1576	44.63
15-dic-15	1491	42.22
16-dic-15	1522	43.10
17-dic-15	1621	45.90
18-dic-15	1556	44.06
19-dic-15	1590	45.02
20-dic-15	1576	44.63

Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

En la figura 3.6 se observa la tendencia de captación de biogás durante catorce días.



FIGURA 3.6 Tendencia diaria Pozo 3
Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

En la figura 3.7 se puede apreciar la tendencia de captación de los tres pozos durante el tiempo de medición

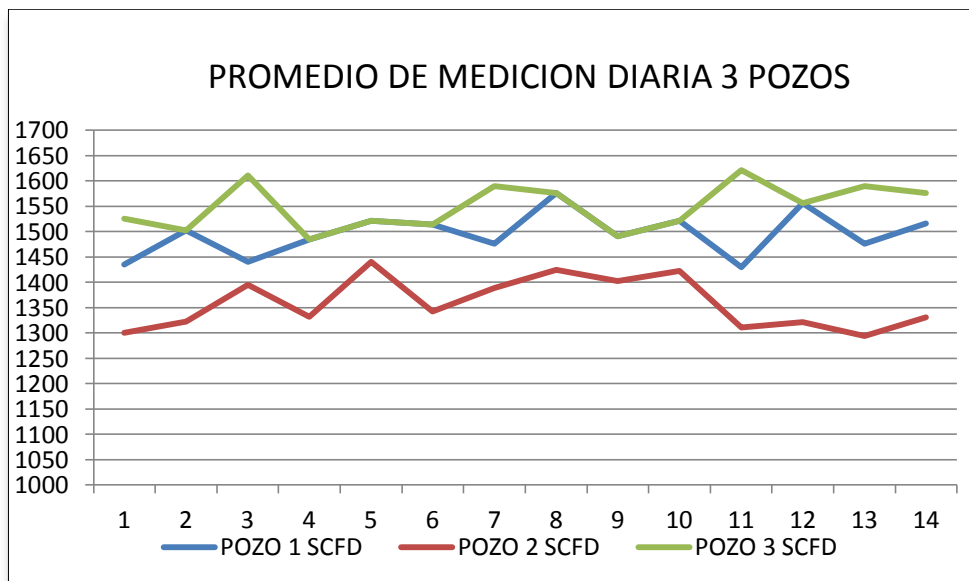


FIGURA 3.7 Tendencia de medición diaria 3 pozos
Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

Como resultado de las mediciones se ha podido captar en promedio con el sistema implementado un promedio de 4100 SCFD (116 m³) de biogás por día, esto como resultado de la sumatoria de los 3 pozos intervenidos. Por lo cual las propuestas estarán acorde a estos valores.

3.3 Caracterización del biogás

Para determinar la composición y poder calorífico del biogás se tomaron muestras en los tres pozos que han sido el caso de estudio. Las muestras tomadas fueron enviadas al laboratorio especializado del Ing. Luis Cano Rosero en la ciudad de Quito. Quien brinda servicios de análisis de hidrocarburos a varias empresas petroleras del país y además cuenta con las respectivas certificaciones de los equipos utilizados.

En la tabla 3.8 se muestra los valores de los elementos que componen el biogás de los 3 pozos. El análisis total se lo puede observar en los Anexos 1,2 y 3.

Tabla 3.8 Cromatografía del biogás

CROMATOGRAFÍA DEL BIOGÁS DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SALCEDO			
Componente	Pozo1	Pozo2	Pozo3
	Fracción molar [%]	Fracción molar [%]	Fracción molar [%]
Metano	54.76	51.35	53.80
Dióxido carbono	44.21	45.30	40.38
Nitrógeno	0.3	2.17	4.31
Etano	0.00	0.02	0.00
Propano	0.68	1.15	1.80
Agua	0.03	0.0	0.00
Heptano	0.01	0.01	0.01
Total	100	100	100
Poder calorífico	439 BTU / ft ³	423 BTU / ft ³	531 BTU / ft ³

Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

En la figura 3.8 a y b se puede observar la forma en que se tomó la muestra en el pozo 1.



(a)

(b)

FIGURA 3.8 Toma de muestra para cromatografía
Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

Adicional a las cromatografías realizadas en el laboratorio, se realizaron pruebas de porcentaje de CO_2 midiendo directamente a la salida de cada pozo con sondas desechables, en la figura 3.9 se puede apreciar la forma en que se realizó estas pruebas.



FIGURA 3.9 Medición de porcentaje de CO_2 en campo
Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

Con esta prueba se logró hacer una comparación del porcentaje de CO_2 que se tiene en el biogás, comprobando efectivamente que tenemos en promedio 43% de CO_2 , en la figura 3.10 a y b se muestran los resultados.



(a) (b)
 FIGURA 3.10 Resultados de porcentaje de CO₂ de la prueba en campo
 Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

De los resultados de cromatografía obtenidos, se ha realizado una comparación con varios estudios similares que analizan los principales componentes del biogás como es el caso del relleno sanitario las Iguanas de Guayaquil en el cual durante el ensayo se quemaron aproximadamente 47,121 m³ de biogás, conteniendo un promedio de 48.74 % de metano. O como en estudios realizados en México en diversos rellenos sanitarios datos que se muestran en la figura 3.11

Sitio	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	N ₂ (%)
Prados de la Montaña	55.31	38.09	0.94	5.66
Santa Catarina	41.28	58.08	0.00	0.64
Tlalnepantla	57.41	40.95	0.23	1.40
Tepotzotlán	52.99	38.91	0.70	7.40
Chimalhuacán	57.08	37.50	0.98	4.43
Querétaro	57.27	42.17	0.08	0.48
Puebla	59.13	37.54	0.83	2.50
Tehuacán	54.43	38.82	1.44	5.30
San Andrés Cholula	55.76	42.04	0.47	1.72
San Pedro Cholula	49.75	36.26	1.26	12.72
Huejotzingo	39.98	48.04	2.55	9.43
Jalapa	55.80	42.31	0.39	1.50
Poza Rica	54.62	42.09	0.70	2.60

FIGURA 3.11 Datos de composición promedio del biogás por sitio
 Fuente: (Flores, 2009)

Con el análisis realizado, se demuestra que las cromatografías obtenidas en el relleno sanitario del cantón Salcedo, tiene la composición promedio en sus elementos respecto al biogás de otros rellenos sanitarios.

Los datos de flujos obtenidos se los puede comparar con el estudio realizado en el relleno sanitario de la ciudad de Ambato. En el cual se captó biogás de 3 pozos que fueron suficientes para consumo de un generador de 12 kW.

3.4 Proyección de la producción de biogás en el relleno sanitario del cantón

Salcedo, utilizando el modelo biogás Ecuador

Se ingresan los datos en la aplicación tal como se muestra en la figura 3.12, inicialmente con el año de inicio y final de operación que tiene el relleno y la precipitación anual.

PROYECCIONES DE GENERACIÓN Y RECUPERACIÓN DE RELLENO SANITARIO JACHAGUANGO - SALCEDO	
7-Feb-16	
Año de Inicio de Operaciones	2009
Año de Término de Operaciones	2039
Precipitación Promedio Anual:	719 mm/año
Contenido de Metano en el Biogás:	50%
Índice de Generación de Metano (k):	0,690 1/año
Generación Potencial de Metano (L ₀):	87 m ³ /tonelada métrica
L ₀ equivalente en unidades inglesas:	2790 ft ³ /ton

FIGURA 3.12 Datos iniciales del modelo

Fuente: (EPA, Environment Protection Agency, 2009)

El número de toneladas dispuestas en el relleno es un dato esencial, así como la eficiencia del sistema de recolección, las toneladas de masa disponible se ha calculado acorde al crecimiento anual de la captación de residuos y se ha considerado el 70% de la eficiencia de captación a partir del año 2017 como punto de partida para iniciar la captación. En la figura 3.13 se muestra los datos ingresados.

<i>Año</i>	Toneladas Dispuestas (toneladas métricas/año)	Toneladas Acumuladas (toneladas)	Toneladas Masa Disponibles	Eficiencia del Sistema de Recolección	Recuperación Actual (m³/hr)
2009	5.840	5840	0%	0%	
2010	6.132	11972	4%	0%	
2011	6.439	18410,6	8%	0%	
2012	6.761	25171,13	12%	0%	
2013	7.099	32269,6865	16%	0%	
2014	7.453	39723,17083	20%	0%	
2015	7.826	47549,32937	24%	0%	
2016	8.217	55766,79583	28%	0%	
2017	8.628	64395,13563	32%	70%	
2018	9.060	73454,89241	36%	70%	
2019	9.513	82967,63703	40%	70%	
2020	9.988	92956,01888	44%	70%	
2021	10.488	103443,8198	48%	70%	
2022	11.012	114456,0108	52%	70%	
2023	11.563	126018,8114	56%	70%	
2024	12.141	138159,7519	60%	70%	
2025	12.748	150907,7395	64%	70%	
2026	13.385	164293,1265	68%	70%	
2027	14.055	178347,7828	72%	70%	
2028	14.757	193105,172	76%	70%	
2029	15.495	208600,4306	80%	70%	
2030	16.270	224870,4521	84%	70%	
2031	17.084	241953,9747	88%	70%	
2032	17.938	259891,6734	92%	70%	
2033	18.835	278726,2571	96%	70%	
2034	19.776	298502,57	100%	70%	
2035	20.765	319267,6984	100%	70%	
2036	0	319267,6984	100%	70%	

FIGURA 3.13 Datos ingresados en el modelo

Fuente: (EPA, Environment Protection Agency, 2009)

En la figura 3.14 se observa la tendencia de la cantidad de residuos que han sido captados desde el inicio de operación de relleno hasta la posible fecha de su cierre.

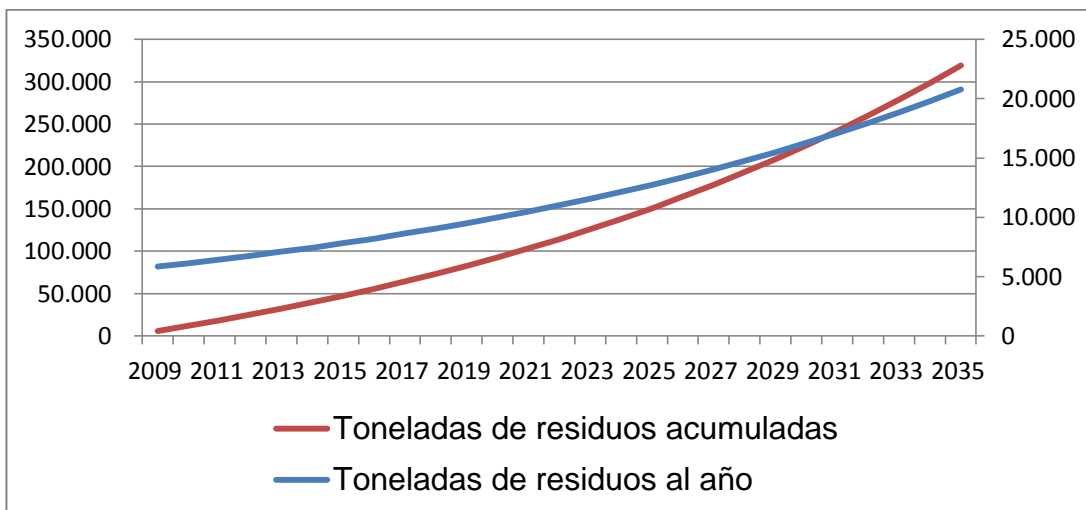


FIGURA 3.14 Toneladas de desechos captadas en el sitio de disposición final
Fuente: (GAD MUNICIPAL SALCEDO, 2015)

De acuerdo a los datos ingresados sobre la cantidad de desechos recibidos en el sitio de disposición final, existe un incremento de captación de 3% a 4% anual respecto a los años anteriores. Sin embargo hay que aclarar que en el relleno sanitario este valor puede ser mucho mayor, pero ha sido reducido gracias al reciclaje que se lo hace en la planta y a la celda de residuos orgánicos implementado.

Una vez ingresado los datos nos trasladamos a la hoja (Resultados – Tabla), en ella se muestra los datos como, el índice de disposición de los desechos, toneladas acumuladas, generación de biogás, eficiencia del sistema de recolección y recuperación del biogás existente/planeado ver Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Proyección de generación y recuperación de biogás, para el relleno sanitario del Cantón Salcedo

**PROYECCIONES DE GENERACIÓN Y RECUPERACIÓN DE BIOGÁS
RELLENO SANITARIO JACHAGUANGO - SALCEDO**

Año	Indice de Disposición	Toneladas Acumuladas	Generación de Biogás			Eficiencia del Sistema de Recolección	Recuperación de Biogás del Sistema Existente/Planeado		
	(toneladas métricas/año)	(toneladas métricas)	(m ³ /min)	(m ³ /hr)	(mmBTU/año)	(%)	(m ³ /min)	(m ³ /hr)	(mmBTU/año)
2009	5,840	5,840	0.0	0	0	0%	0.0	0	0
2010	6,132	11,972	1.3	80	12,542	0%	0.0	0	0
2011	6,439	18,411	2.1	124	19,459	0%	0.0	0	0
2012	6,761	25,171	2.5	151	23,587	0%	0.0	0	0
2013	7,099	32,270	2.8	168	26,349	0%	0.0	0	0
2014	7,453	39,723	3.0	182	28,460	0%	0.0	0	0
2015	7,826	47,549	3.2	193	30,282	0%	0.0	0	0
2016	8,217	55,767	3.4	204	31,995	0%	0.0	0	0
2017	8,628	64,395	3.6	215	33,695	22%	0.0	48	7,548
2018	9,060	73,455	3.8	226	35,430	25%	1.0	57	8,928
2019	9,513	82,968	4.0	238	37,227	28%	1.1	67	10,424
2020	9,988	92,956	4.2	250	39,101	31%	1.3	77	12,043
2021	10,488	103,444	4.4	262	41,062	34%	1.5	88	13,797
2022	11,012	114,456	4.6	275	43,119	36%	1.7	100	15,695
2023	11,563	126,019	4.8	289	45,276	39%	1.9	113	17,748

2024	12,141	138,160	5.1	304	47,541	42%	2.1	128	19,967
2025	12,748	150,908	5.3	319	49,918	45%	2.4	143	22,363
2026	13,385	164,293	5.6	335	52,414	48%	2.7	159	24,949
2027	14,055	178,348	5.9	352	55,035	50%	3.0	177	27,738
2028	14,757	193,105	6.2	369	57,787	53%	3.3	196	30,743
2029	15,495	208,600	6.5	388	60,676	56%	3.6	217	33,979
2030	16,270	224,870	6.8	407	63,710	59%	4.0	239	37,462
2031	17,084	241,954	7.1	427	66,896	62%	4.4	263	41,208
2032	17,938	259,892	7.5	449	70,241	64%	4.8	289	45,235
2033	18,835	278,726	7.9	471	73,753	67%	5.3	317	49,562
2034	19,776	298,503	8.2	495	77,440	70%	5.8	346	54,208
2035	20,765	319,268	8.7	519	81,312	70%	6.1	364	56,919
2036	0	319,268	9.1	545	85,378	70%	6.4	382	59,765
2037	0	319,268	4.6	274	42,824	70%	3.2	192	29,976
2038	0	319,268	2.3	137	21,479	70%	1.6	96	15,035
2039	0	319,268	1.1	69	10,773	70%	0.8	48	7,541
2040	0	319,268	0.6	35	5,404	70%	0.4	24	3,783
2041	0	319,268	0.3	17	2,710	70%	0.2	12	1,897
2042	0	319,268	0.1	9	1,359	70%	0.1	6	952
2043	0	319,268	0.1	4	682	70%	0.1	3	477
2044	0	319,268	0.0	2	342	70%	0.0	2	239
2045	0	319,268	0.0	1	172	70%	0.0	1	120
2046	0	319,268	0.0	1	86	70%	0.0	0	60
2047	0	319,268	0.0	0	43	70%	0.0	0	30

Fuente: (EPA, Modelo Biogás Ecuador Versión 1.1, 2009)

En la figura 3.15 se muestra la tendencia de la proyección y recuperación estimada de biogás según el modelo aplicado.

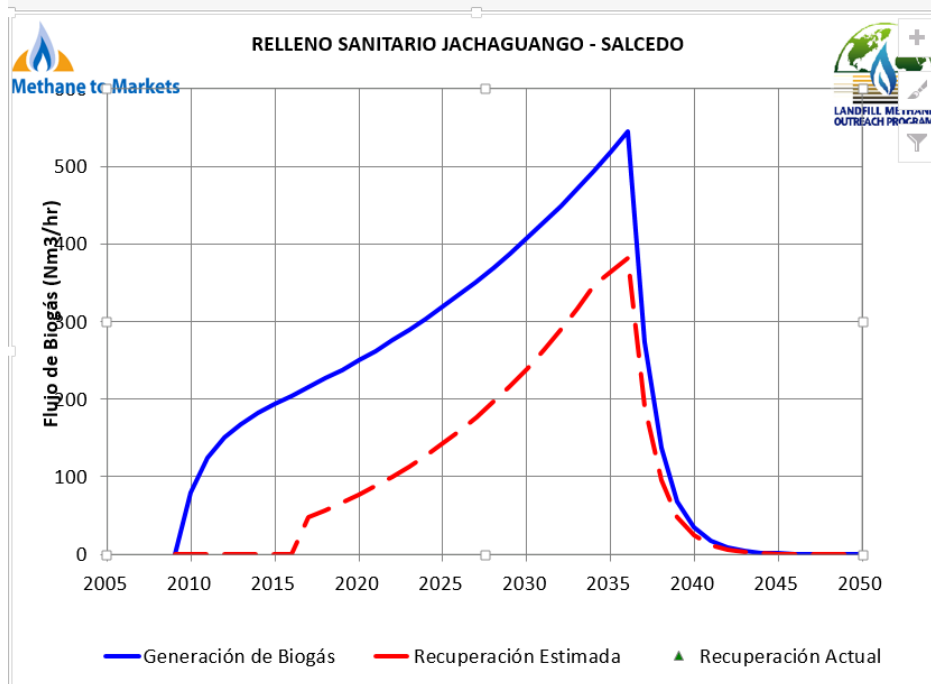


FIGURA 3.15 Proyección de generación y recuperación de biogás del Relleno Sanitario del Cantón Salcedo
Fuente: (EPA, Modelo Biogás Ecuador Versión 1.1, 2009)

De los resultados obtenidos en el modelamiento muestra que en la actualidad existe una producción de $193 \text{ m}^3/\text{min}$ de biogás, frente al $48 \text{ m}^3/\text{min}$ que se captó. Este valor muestra que se tiene un buen potencial al momento, y comparando con el valor extraído, existe una gran diferencia con lo que se ha logrado captar con el sistema de extracción implementado.

El máximo valor de recuperación de biogás que el modelo muestra es de 70% implementado pozos de captación y sistemas de extracción para obtener la mayor eficiencia..

Capítulo 4

4. LA PROPUESTA

Luego de recolectar información en campo y obtener los resultados experimentales relacionados con el potencial de biogás, cromatografías y demás análisis, surge la necesidad de elaborar las propuestas sostenibles para el uso que se podría dar a este recurso que no se está utilizando.

4.1 Título de la propuesta

Propuestas térmicas sostenibles para el aprovechamiento del biogás que se produce en el relleno sanitario del cantón Salcedo.

4.2 Justificación

Con estas propuestas se pretende dar una guía para los administradores del relleno sanitario del cantón Salcedo para la utilización de esta fuente de energía de bajo costo y muy segura; además brindar mejoras en el lugar para un mayor confort a las personas que laboran en el relleno, y así contribuir con la reducción de la contaminación del medio ambiente. Las propuestas deben tener las siguientes características:

- Su costo deberá ser adaptable al medio y robustos para soportar las condiciones del lugar.
- Poco espacio de instalación.
- Estéticamente atractivo, novedoso y fácil de usar.

4.3 Objetivos de la propuesta

Analizar la información obtenida en campo, con la finalidad de brindar una propuesta térmica sostenible y otra como segunda alternativa, en base a un

análisis económico, social y medioambiental para el aprovechamiento racional del biogás.

4.4 Estructura de la propuesta

Se han planteado dos alternativas para el uso del biogás que se produce en el relleno sanitario del cantón Salcedo, tomando como referencia los resultados obtenidos en las mediciones de campo realizadas en los pozos de venteo pasivo que en la actualidad existen, sin embargo si en un futuro se desean implementar sistemas de extracción de biogás con pozos dedicados y aplicar el modelamiento realizado, la capacidad de producción de las propuestas planteadas se podrían incrementar, es decir, se podría obtener mayor aprovechamiento del recurso, se han investigado equipos en base a los resultados de biogás captado para determinar su capacidad nominal de trabajo. Las propuestas planteadas se detallan a continuación:

- Aprovechamiento del potencial de biogás en un sistema de evaporación de líquidos lixiviados.
- Uso del recurso como combustible para un sistema de generación eléctrica para la iluminación del sitio de disposición final de residuos.

4.5 Desarrollo de la propuesta

De acuerdo a la información en campo se ha podido captar en promedio con el sistema implementado 4100 SCF (116 m³) de biogás por día, para estos valores de flujo se ha consultado con fabricantes sobre sus posibles aplicaciones, y se han verificado con datos de placa de cada equipo sugerido para que el dimensionamiento sea el adecuado.

4.5.1 Primera propuesta

La primera propuesta para la utilización del biogás en el relleno sanitario del cantón Salcedo, es la utilización de una planta de evaporación de lixiviados en el vertedero, Con las pruebas realizadas en campo y según datos de los operadores del relleno, se determinó que existe un caudal de producción de lixiviados de 90 l/h en temporada de lluvia y en temporada seca un promedio de 60 l/h. Considerando que el relleno sanitario es relativamente nuevo y está sometido a constante crecimiento se ha considerado un equipo capaz de evaporar hasta 150 l/h de lixiviados en una instalación de funcionamiento automático con un consumo promedio de biogás para este caudal de 95 m³ diarios.

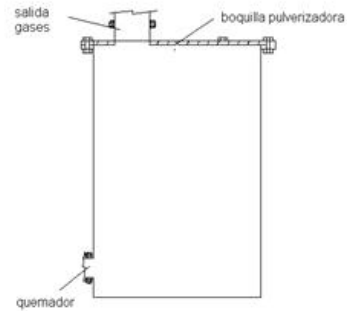
Según los datos obtenidos en cuanto a las mediciones fue de 116 m³ diarios de biogás por lo tanto supe la demanda de combustible para esta aplicación.

La instalación se proyecta para una vida útil de más de 25 años, con el mantenimiento adecuado. La información que se va a detallar sobre las características de los equipos de evaporación y particularidades generales han sido proporcionadas por (Emison, 2016), empresa española con varios años de experiencia en aplicaciones para uso de biogás.

4.5.1.1 Evaporador tipo flash

En base a las consideraciones arriba descritas se ha seleccionado un evaporador tipo flash, todas sus características en cuanto a diseño son responsabilidad de su fabricante. Su principio de funcionamiento se basa en la evaporación del líquido (lixiviado) mediante el uso de una fuente de calor, en este caso se utiliza el calor generado por un quemador a biogás. Para ello se introduce el líquido a presión mediante una boquilla pulverizadora en una cámara calentada de las dimensiones adecuadas. El fluido se evapora de forma instantánea saliendo en forma de vapor por la chimenea y los sólidos son retenidos en el fondo del evaporador, de donde se extraen manualmente. Los componentes orgánicos son quemados por la temperatura del evaporador y los productos de la combustión son extraídos por la

corriente gaseosa. En la figura 4.1 a y b, se muestra una imagen del evaporador sugerido.



(a)

(b)

FIGURA 4.1 Evaporador tipo flash
Fuente: (Emison, 2016)

- **Especificaciones técnicas del evaporador**

El evaporador se recubrirá con una capa de 10 cm de aislante térmico para reducir las pérdidas de calor. Se considera un evaporador con boquilla pulverizadora, bomba de agua y quemador a biogás de las dimensiones y condiciones de operación mostradas en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Características del evaporador de lixiviados

Características del evaporador de lixiviados		
Evaporador	Caudal:	Hasta 150 L/h de lixiviados
	Diámetro	0,6 m
	Altura	1 m
	Temperatura en el interior del evaporador	270 °C

	Tiempo de residencia del gas	15 s
	Presión de trabajo	1 atm
	Pulverizador axial	De cono lleno
	Material	Acero inoxidable
	Ángulo de spray	90°
	Presión de trabajo	2 bar
	Diámetro del cono de dispersión	H=0,5 m ; 560 mm
Bomba de agua	Material	Acero Inoxidable
	Caudal a bombear	2 l/min
	Presión de trabajo	2 bar
Quemador	Calor producido	112.000 kcal/h
	Diámetro máximo de llama	100 mm
	Longitud de la llama	350 mm

Fuente: (Emison, 2016)

El quemador estará controlado por un sistema electrónico que lo detendrá o iniciará dependiendo del valor de temperatura marcado por la sonda situada en el evaporador.

- **Control de proceso del evaporador**

El horno lleva un quemador y una bomba, ambos equipos funcionan de acuerdo con las medidas de una termocupla tipo J para mantener la temperatura en el entorno de los 250°C, conjuntamente con un interruptor general y las seguridades para la protección de los equipos.

El control está confiado a un microprocesador que se encarga de todas las operaciones. Maneja los quemadores en función de la temperatura programada, ajustando el consumo a las necesidades en todo momento.

- **Armario de maniobras del evaporador**

Corresponde a los elementos que se encuentran dentro del tablero eléctrico tales como bobinas, contactores y demás elementos de maniobra, control y protección. En la figura 4.2 se muestra el armario para el control del evaporador.



FIGURA 4.2 Tablero de control del evaporador
Fuente: (Emison, 2016)

- **Elementos de regulación, control y seguridad del evaporador**

Posee un regulador de temperatura de la cámara de combustión, formato DIN estándar, escala 0-1200°C, además módulos de circuito impreso intercambiables, con dos puntos de alarma, que pueden ser configurados según la necesidad. Recibe la señal de una sonda ubicada en la misma cámara, actuando sobre el funcionamiento del quemador y un sistema automático de alimentación de los residuos.

Consta también de otro regulador de temperatura de la cámara de post-combustión, formato DIN estándar, escala 0-1600°C, con módulos circuito impreso intercambiables, con dos puntos de alarma, configurables según la necesidad. Recibe la señal de una sonda ubicada en esta cámara, actuando sobre el funcionamiento del quemador..

Tiene un programador de secuencias que controla el funcionamiento del quemador de combustión (prebarrido, encendido, control de llama y bloqueo)

Se encuentra ya instalado un programa de secuencias controlando el funcionamiento del quemador de post-combustión (prebarrido, encendido, control de llama, bloqueo, entre otros).

El equipo eléctrico consta de una unidad central de programación y una serie de extensiones. Este microordenador está alimentado con una tensión de 12V de corriente continua que está suministrada por una fuente de alimentación estabilizada y desparasitada. Las salidas de tensión para mando 230 VCA/60 Hz. Las salidas de tensión, utilizan micro relés de mando con fusibles de protección individual.

El microprocesador incorpora un programa de chequeo verificando los diferentes estados del sistema, y el mismo detecta con antelación situaciones anómalas, tales como fallo en los sensores de temperatura, apagado de llama, y demás permisos de arranque.

- **Mantenimiento requerido del evaporador**

Diario

- Limpieza de la máquina
- Vaciado, limpieza y verificación de la cámara de combustión
- Control del nivel de gas y filtro de combustible
- Vaciado de las cenizas
- Limpieza de la nave del horno y depósito de combustible

Trimestral

- Cambio de junta de la puerta.
- Reconstrucción de erosiones en hormigones

- **Costos de instalación del evaporador**

Todo el sistema anteriormente descrito, incluso embalaje y transporte tiene un costo aproximado de *13900 USD* con las siguientes exclusiones: obra civil, acometida eléctrica hasta el tablero, impuestos y trámites legales.

- **Obra civil previa a la instalación del evaporador**

Preparación de los caminos de acceso a la planta de tratamiento desde la carretera general.

- Caminos peatonales y barandas de seguridad
- Preparación del terreno
- Caseta para el horno
- Grúas para la descarga y colocación de la maquinaria

4.5.2 Segunda propuesta

La segunda opción planteada para el aprovechamiento sostenible del biogás, es su utilización en un sistema de generación que serviría como fuente de alimentación eléctrica para iluminar el sitio de disposición final.

El equipo seleccionado modelo 10GF-ZC, tiene un consumo promedio de biogás según el fabricante de $0.56 \text{ m}^3/\text{kW.h}$, con este dato se aduce que el consumo para generar 10 kW.h sería de 5.6 m^3 , y para generar la misma potencia durante 12 horas nocturnas se necesitaría una producción de 67 m^3 de biogás. Para el flujo que se obtuvo en la medición se podría generar hasta 17 kW por 12 horas al día, la propuesta está en base a un generador de 10 kW con su respectivo sistema de tratamiento ya que se pretende utilizar para la iluminación del sitio de disposición final, y con esa capacidad es suficiente, pero se deja libre la elección de un generador de mayor capacidad si los costos de los equipos justifican la implementación.

4.5.2.1 Sistema de generación

El sistema de generación propuesto, está basado en la utilización de un generador de 10 kW de potencia efectiva, las características se muestran en la tabla 4.2

Tabla 4.2 Características del motor-generador propuesto

10 kW Generador a Biogás		
Modelo	10GF-ZC	
Método de conexión	tres fases, 4 cables	
Tipo de combustible	Biogás	
Panel de control	Tipo teclado	
Potencia Nominal (kW)	10	
Corriente Nominal (A)	18	
Voltaje Nominal (V)	400/230	
Frecuencia Nominal (Hz)	50/60	
Factor de potencia	0,8	
Método de ajuste de voltaje	AVR	
Clase de aislamiento	F	
Motor	Modelo	465F
	Tipo	4 Tiempo, enfriado con agua, Sistema de control electrónico
	Cilindros * Diámetro (mm)	4 * 65.5
	Desplazamiento (L)	1.05
	Consumo de combustible ($\text{m}^3/\text{kW.h}$)	0.56
	Radio Compresión	11.5:1

	RPM	3000
	Módulo de velocidad	Governor electrónico
	Método de arranque	Encendido electrónico
Tamaño (Largo*alto*Profundidad) (mm)		1120*720*680
Peso Neto (kg)		260

Fuente: (Mola, 2015)

Según el fabricante del motor, previo a la utilización del biogás como combustibles, es necesario que éste se someta a un proceso de tratamiento de desulfuración y deshidratación, así también, lo menciona en el proyecto de utilización de biogás del Relleno Sanitario de Ambato el Físico (Duque, 2012): “Para el uso del biogás en motores, es indispensable eliminar el ácido sulfhídrico (H_2S), ya que éste al reaccionar con agua forma ácido sulfúrico (H_2SO_4) que es altamente corrosivo y puede ocasionar graves daños internos al motor” (pág. 7).

Por tal razón en la propuesta esta contemplado la utilización de una planta de tratamiento de biogás capaz de tratar hasta 150 m^3 por día, la cual está compuesta por elementos que se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Elementos para el sistema de tratamiento de biogás

PLANTA DE TRATAMIENTO DE BIOGÁS			
Modelo	Descripción	Imagen	Especificaciones
MB-50CB	Bolsa tipo PVC 1.2mm		Capacidad: 50 m^3 Dimensiones: 6*3.3*2,5m
Desulfurizador y deshidratador tanque de 100 kg	Equipo para interiores de acero inoxidable, Diámetro 400mm, alto 1500 mm		Peso: 80 Kg

MA-180W	Bomba eléctrica		Potencia Nominal:180W Voltaje:220V/380V/60Hz Máxima presión:9Kpa Salida 18m ³ /h
-	Manguera Reforzada		Material PVC Diámetro: 11,5mm Espesor: 1,6mm
-	Manguera Sencilla		Material PVC Diámetro: 11mm
-	Conectores resistentes a la corrosión		Diferentes medidas

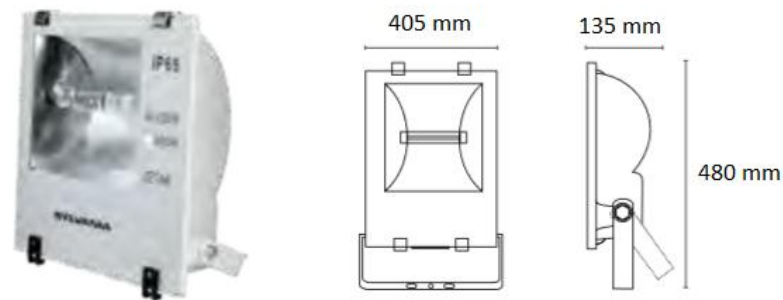
Fuente: (Mola, 2015)

Como requerimiento principal para el funcionamiento del generador es que debe tener al menos un 40% de metano CH₄, según el análisis cromatográfico el biogás que se produce en el relleno sanitario tiene en contenido mayor del 50% por lo tanto el biogás puede ser utilizado.

Este sistema de generación pudiese ser utilizado como fuente de energía eléctrica para la iluminación del sitio de disposición final, en el mercado existen una gran variedad de lámparas con diversas características que pudiesen utilizarse. Para la aplicación se sugiere una lámpara tipo reflector, por su robustez para exteriores y por demás características que se presentarán a continuación.

Lámpara tipo reflector Jeta

Las características de las lámparas han sido descargadas de (Sylvania, 2016). En la figura 4.3 a y b se puede apreciar este tipo de lámparas.



(a) (b)
 FIGURA 4.3 Lámpara Sylvania tipo Jeta
 Fuente: (Sylvania, 2016)

Características

- Cuerpo de aluminio inyectado a presión con protección IP65, vidrio frontal templado resistente al choque térmico y al impacto, asegurado por medio de bisagras – clips para fácil reemplazo de la lámpara.
- Acabado con pintura epóxica, con tratamiento de fósforo cromado.
- Reflector de aluminio de alta pureza y anodizado de haz ancho.
- Equipo eléctrico montado en placa pre alambrada con balasto reactor de alto factor de potencia y bajas pérdidas.
- Montaje con goniómetro para fácil instalación y orientación

Aplicaciones

- Áreas de seguridad
- Parqueaderos
- Construcciones
- Campos deportivos
- Iluminación residencial de espacios exteriores
- Iluminación de eventos
- Áreas grandes

Las características de las lámparas tipo Jeta se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Características de lámparas para iluminación

MARCA	CODIGO	DESCRIPCIÓN COMERCIAL	TIPO DE LAMPARA	POTENCIA (W)	TENSION DE LÍNEA (V)
Sylvania	P36471-36	Jeta 6 400W HPS E40 208-220V	SODIO	400	208-220

Fuente: (Sylvania, 2016)

Una vez planteada la segunda alternativa es necesario mostrar los costos de los equipos considerando la utilización de 20 lámparas de 400 W lo cual da una carga de 8 kW es decir se utilizará el 80% de la potencial nominal del generador, en la tabla 4.5 se muestran los costos, es importante señalar que en los mismos no se especifica la obra civil.

Tabla 4.5 Costos de los equipos a implementar

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO (USD)	TOTAL (USD)
1	1	Generador 10GF-ZC 10kW a biogás	5330	5330
2	1	MB-50CB Bolsa tipo PVC 1.2mm	2600	2600
3	1	Desulfurizador y deshidratador, tanque de 100 kg	1600	1600
4	1	MA-180W Bomba Eléctrica	240	240
5	1	Accesorios para conexiones	80	80
6	1	Transporte internacional Planta de tratamiento+Generador	1680	1680
7	20	Lámparas Jeta 6 400W HPS E40 208-220V	133,62	2672,4
8	20	Postes de 6m	120	2400
9	10	Rollo de cable 100m calibre 8 AWG	94,95	949,5
10	1	Tablero de distribución y elementos de protección	200	200
			TOTAL	17751,9

Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

4.5.3 Selección de la mejor propuesta

Para la selección de la mejor propuesta térmica sostenible se van a considerar 3 aspectos que pueden ayudar a escoger la mejor opción

- *Económica*

Para evaluar cual proyecto es más factible, se considerará únicamente el costo de la tecnología que pudiese ser implementada, ya que al no tratarse de un diseño completo no se consideran los costos de obra civil, montaje de equipos, mantenimientos y demás gastos que incurren a la hora de construir y poner en marcha un proyecto.

Como se ha detallado en cada propuesta planteada, el costo de los equipos para la planta de evaporación de lixiviados es de 13900 USD, mientras que para el sistema de generación es de 17751.9 USD. Se ha realizado una comparación con equipos de características de similares. En el caso del evaporador de lixiviados con una caldera a diesel con una producción de 345 lb/h de vapor con un consumo de 2 gal/h de diesel. En la tabla 4.6 se puede observar los resultados.

Tabla 4.6 Comparación Evaporador de biogás Vs Caldera a diesel

Evaporador de lixiviados 24 Horas de trabajo		
	Evaporador Biogás (USD)	Caldera diesel (USD)
Costo de combustible m ³ / Gal	0	1.037
Consumo de combustible día	95 m ³	48 gal
Costo combustible diario	0	49.77
Procura de materiales	13,900	7,500
Diferencia procura de materiales	6,400 USD	
Tiempo para alcanzar Inversión propuesta	4.28 meses	

Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

Para hacer la comparación en el caso del sistema de generación, se la ha realizado con el costo del kW/h que factura la empresa eléctrica. Los resultados se los muestra en la tabla 4.7.

Tabla 4.7 Comparación generador a biogás Vs tarifa empresa eléctrica

Generación Eléctrica 10kW por 12 horas de trabajo		
	Generador Biogás USD	Empresa eléctrica USD
Costo kW/h	0	0.091
Costo 10kW/h	0	0.91
Costo diario 12 horas	0	10.92
Procura de materiales	17,751.9	6,221
Diferencia procura de materiales	11,530.9 USD	
Tiempo para alcanzar Inversión propuesta	2,89 Años	

Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

En ambos proyectos sugeridos, el costo de la procura de materiales (Inversión de equipos) se vuelve complejo hacer un análisis ya que en la actualidad no existe ningún egreso por manejo de lixiviados o energía eléctrica en el sitio de disposición final. De tal forma que los dos proyectos se convierten en inversiones sin recuperación de capital. Según lo comprado la opción del evaporador de lixiviados es la alternativa más viable económicamente.

- *Medioambiental*

Al implementar la planta de evaporación de lixiviados, se está evitando el recircular estos líquidos al sitio de disposición final, con ello se reduce la contaminación por posibles fugas en los ductos pudiendo contaminar las aguas superficiales como subterráneas de las cuales se abastece el cantón tanto para el consumo humano como para el regadío; produce malos olores que pueden ser perjudiciales para el personal que labora en el lugar así como para la población que habita cerca del relleno, en este punto esta aplicación es más amigable en cuanto a cuidar el medio ambiente ya que al aplicar el proyecto de generación

únicamente se brinda un mejor confort para el personal que labora en la noche en el lugar.

- *Social*

Al utilizar el biogás en un proyecto térmico sostenible, ayuda al desarrollo social ya que es un recurso que no está siendo utilizado y al darle una aplicación brinda una mejora al sitio en donde se está produciendo, además para el GAD Municipal del Cantón Salcedo en responsabilidad con el pueblo y la mejora continua impulsa este tipo de investigaciones. Es decir, ambas aplicaciones a pequeña escala contribuyen al desarrollo, pero si se piensa en un sistema de generación mucho más grande los habitantes que viven cerca del relleno podrían recibir energía más barata con su implementación pero con una inversión inicial mucho mayor.

Con el análisis realizado en cuanto a los tres aspectos mencionados, se puede decir, que la propuesta térmica sostenible más adecuada es la implementación de una planta de evaporación de lixiviados. En la tabla 4.6 se muestra el análisis realizado.

Tabla 4.8 Análisis de las propuestas

	Propuesta	
	P.E. Lixiviados	Sist. Generación
Económico	x	
Mediambiental	x	
Social	x	x

Fuente: Edwin Daniel Albán Castellanos

CONCLUSIONES

- Se obtuvo la caracterización de los residuos que ingresan al sitio de disposición final con un 58.66% de materia orgánica, punto de partida importante para el desarrollo de la investigación, ya que con esta información se pudo predecir que si existía un gran potencial de metano.
- Con el sistema de extracción implementado se captó en promedio diario 4100 SCF (116 m³) de biogás. en base a este valor se pudieron plantear dos propuestas térmicas sostenibles que pueden ser aplicadas para darle un uso a este importante recurso que no esta siendo aprovechado.
- Con las cromatografías realizadas al biogás, se comprobó el alto concentrado de gas metano existente que fue en promedio 53% con un poder calorífico promedio de 515 BTU/ft³, con lo cual su uso para generación eléctrica es aplicable.
- Al realizar el modelamiento nos indica que existe una producción actual de 4608 m³/día frente a 116 m³/día que se captó, estos valores están acorde al sistema de captación implementado ya que no existen pozos dedicados para la captación del recurso.
- Con el valor obtenido en las mediciones se propuso dos aplicaciones importantes para el uso del biogás producido, la primera su uso en un evaporador de lixiviados con capacidad de 150 l/h y la segunda un sistema de generación de 10kW, realizando un análisis se determinó que la aplicación más adecuada es el evaporador de lixiviados.
- En la actualidad existe un gran potencial de biogás en el relleno sanitario del cantón Salcedo, sin embargo este valor incrementará mucho más en el

futuro ya que apenas se está iniciando la segunda etapa de captación de residuos y crece aceleradamente.

RECOMENDACIONES

- Para obtener mayor eficiencia de captación sería importante realizar pozos dedicados para la extracción y aprovechamiento del recurso.
- La implementación de un evaporador de lixiviados es la opción más viable, pero se deja a consideración la aplicación de la segunda propuesta, que es la implementación de un sistema de generación de 10kW para su uso en iluminación del sitio de disposición final.
- Hacer adecuaciones para pozos de extracción en la segunda etapa de captación de residuos en el relleno sanitario, ya que como se mencionó, está área apenas está iniciando lo cual ahorraría importantes recursos económicos evitando perforaciones.
- Realizar análisis de porcentaje de azufre en el biogás ya que en las cromatografías realizadas no se analiza este parámetro.
- En las propuestas de aprovechamiento sostenible se han planteado varios equipos que han sido seleccionados de acuerdo a los parámetros de las mediciones realizadas, sin embargo se deja a disposición la elección de otros equipos que cumplan las mismas especificaciones con costos inferiores.
- Para la captación de biogás se utilizó un sistema de tuberías y accesorios tipo PVC, por tratarse de pruebas este material fue suficiente, pero si ya se desea implementar un sistema de captación para alguna aplicación se debería utilizar un material más robusto para tener una larga duración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia provincial de la energía de Burgos. (2012). *AGEMBUR*. Recuperado el 27 de OCTUBRE de 2015, de <http://www.agenbur.com/es/contenido/index.asp?iddoc=410>

Asamblea Constituyente. (20 de Noviembre de 2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Quito, Pichincha.

Benavides, N. (2009). Modelo de gestión integral de Rellenos Sanitarios manuales para poblaciones entre 15.000 Y 30.000 habitates en el Ecuador. Quito, Pichincha, Ecuador.

Bonilla, W. (30 de Noviembre de 2013). Determinación de la potencialidad de la biomasa generada en la hacienda Espinoza sector Cumbijín cantón Salcedo-2013 para cubrir la demanda del GLP, diseño tecnológico de un biodigestor.

Camargo, Y., & Velez, A. (25 de Septiembre de 2009). Emisiiones de biogás producidas en Rellenos Sanitarios. Barranquilla, Colombia.

Colmenares, W., & Santos, K. (20 de Mayo de 2009). *Generación y manejo de gases en sitio de disposición final*. Recuperado el 15 de AGOSTO de 2015, de [Ingenieríaquímica.org: http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario](http://www.ingenieriaquimica.org)

Crisanto, L. (Noviembre de 2013). Estudio de factibilidad para implementar una central eléctrica aprovechando el biogás generado por el Relleno Sanitario del Inga. Quito, Pichincha, Ecuador.

Duque, C. (02 de Marzo de 2012). Aprovechamiento del biogás en el Relleno Sanitario de Ambato. Ambato, Tungurahua, Ecuador.

- Emerson-Process. (Mayo de 2013). *www.emersonprocess.com*. Recuperado el 26 de NOVIEMBRE de 2015, de <http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/pm%20rosemount%20documents/00813-0109-4004.pdf>
- Emison. (15 de Enero de 2016). Empresa distribuidora de equipos de biogas Emison. Barcelona, España.
- EPA. (05 de Febrero de 2009). *Environment Protection Agency*. Recuperado el 10 de Marzo de 2015, de <http://www.epa.gov/lmop/international/ecuador.html>
- EPA. (Enero de 2009). Modelo Biogás Ecuador Versión 1.1. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Flores, S. (15 de Marzo de 2009). Caracterización del biogás en trece sitios diferentes de RSU en México. México, México.
- GAD Municipal Cantón Salcedo. (14 de Mayo de 2015). Salcedo, Cotopaxi, Ecuador.
- GAD MUNICIPAL SALCEDO. (15 de Diciembre de 2015). Control diario de residuos solidos. Salcedo, Cotopaxi, Ecuador.
- Guerrero, A., Gerardo, V., & Gallegos, D. (Agosto de 2010). *Escuela Superior Politecnica del Litoral*. Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de Red Repositorio de acceso abierto del Ecuador: http://rraae.org.ec/Record/0003_d30c7a0022ba9af8bc4f4de7eb7040f5.pdf
- Hilbert, J. (2003). *Manual para la producción de Biogás, Instituto de Ingeniería Rural*. Recuperado el 2013
- IDAE. (Octubre de 2007). *www.idae.es*. Recuperado el 22 de Junio de 2015, de http://dl.idae.es/Publicaciones/10374_Energia_de_la_biomasa_A2007.pdf

- INHAMI. (Febrero de 2014). Anuario climatológico del Ecuador. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE. (MAYO de 2009). *www.idae.es*. Recuperado el 22 de OCTUBRE de 2015, de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10920_Instalaciones_Biomasa_Term_edificios_2009_b6fe691f.pdf
- Jiménez, A. (2012). Propuesta para el manejo de lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón salcedo, provincia de Cotopaxi. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- Lalvay_Vidal. (Marzo de 2008). Estudio técnico – económico de una planta de generación eléctrica a base de biogás. Santa Isabel, Azuay, Ecuador.
- Methate_to_Markets. (2008). *Informe de evaluación Relleno Sanitario Doña Juana*. Bogotá: SCS Enginners.
- Microphilox. (Marzo de 2009). Aprovechamiento energético de biogás de de pósitocontrolado mediante microturbinas y eliminación biológica de ácido sulfhídrico y siloxanos. Barcelona, España.
- Mola, C. (15 de Diciembre de 2015). Chongqing_Mola_Technology_Co_Ltd. Chongqing, China.
- Monreal, J. (Septiembre de 2009). Recuperación de biogás de Rellenos Sanitarios en Santiago de Chile. Santiago, Chile.
- Morales, L. A. (2009). Análisis de los parámetros y selección de hornos para la combustión interna. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- ONU. (2010). *Informe para la decimo octava sesión de la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas*. Santiago de Chile: Publicación de las Naciones Unidas.

- Orbe, S. (Julio de 2012). Diseño de un proyecto de gestión integral de residuos sólidos domésticos para la Parroquia de Guayllabamba . Quito, Pichincha, Ecuador.
- Pablo Zamonsky, S. B. (19 de Agosto de 2010). Captura y quema de biogás en Rellenos Sanitarios. Montevideo, Uruguay.
- SALVADOR, A. R. (2010). *APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA A LOS COMBUSTIBLES FÓSILES*. MADRID, ESPAÑA.
- Schmidt, F. (Noviembre de 2009). Valoración del biogás en un Relleno Sanitario. Medellin, Colombia.
- SOLARIZATE.ORG. (2012). *www.solarizate.org*. Recuperado el 22 de OCTUBRE de 2015, de Solarizate. Aprende a usar la energía solar: <http://www.solarizate.org/pdf/castellano/fichasalumnos/ficha11.pdf>
- Sylvania. (17 de Febrero de 2016). *www.sylvania.com.ec*. Obtenido de <http://sylvania.com.ec/wp-content/uploads/2015/05/Cata%CC%81logo-Havells-Sylvania-2014-2015.pdf>
- Vallejo, W. (Noviembre de 2008). Estudio de viabilidad para el aprovechamiento del biogás producido en el sitio de disposición final del biogás producido en Navarro bajo el mecanismo del protocolo de Kyoto. Santiago de Cali, Colombia.

ANEXOS

Anexo 1 Cromatografía de biogás del pozo 1

CROMATOGRFÍA BIOGÁS
RELLENO SANITARIO JACHAGUANGO
POZO 1
SALCEDO – COTOPAXI - ECUADOR
Realizado por: ING. LUIS CANO
Fecha: 05/10/2015

Luis Cano R.
INGENIERO QUÍMICO

Datos generales

Denominación del gas : AGA Report 8 Gulf Coast
Presión : 40 PSI
Temperatura : 14 °C
Fecha : 05/10/2015
Hora : 08:00:00

Composición

Componente	Fracción molar [%]
Metano	: 54.76
Dióxido carbono	: 44.21
Nitrógeno	: 0.3
Ácido Sulfhídrico	: 0.01
Propano	: 0.68
Agua	: 0.03
Heptano	: 0.01
Total	: 100

Poderes caloríficos

Temperatura de combustión (t1)	: 60 °F
Temperatura medición volumen (t2)	: 60 °F
Presión absoluta base	: 101.325 kPa
Norma	: ASTM 3588
Masa molecular (M)	: 28.0803 kg/kmol
Poder calorífico molar superior a t1	: 414.78 MJ/kmol
Poder calorífico molar inferior a t1	: 373.72 MJ/kmol
Poder calorífico por unidad de masa superior a t1	: 14.77 MJ/kg
Poder calorífico por unidad de masa inferior a t1	: 13.31 MJ/kg
Factor compresibilidad a t2 (Z)	: 0.9975
Densidad a t2 (rho)	: 1.188 kg/m3
Densidad molar a t2 (db)	: 0.04231 kmol/m3
Densidad aire a t2	: 1.223 kg/m3
Densidad relativa a t2 (Gr)	: 0.9715

Poder calorífico volumétrico superior a t1/t2 : 17.55 MJ/m3
Poder calorífico volumétrico inferior a t1/t2 : 15.81 MJ/m3

Indice de Wobbe superior a t1/t2 : 17.81 MJ/m3
Indice de Wobbe inferior a t1/t2 : 16.04 MJ/m3

Cálculo

Programa : Programa ZGas V: 3, 0, 5, 0
Método : Norma ASTM D3588 : 1998

GAS PROPERTIES @ 14.7 psig & 60° F		
Gross Heating Value	487.5	BTU / ft ³
Net Heating Value	439.5	BTU / ft ³
Molecular Weight	28.4	lb/lb-mol
Compressibility Factor	0.9945	
Density	0.0754	lb / ft ³
S.G.	0.9871	
Density	1.2081	Kg / m ³

GAS PROPERTIES @ 50 psig & 80 °F		
Compressibility Factor	0.9888	
Density	0.3212	lb / ft ³
S.G.	0.9929	
Density	5.1499	Kg / m ³

Análisis Realizado por:



Luis Cano R.
INGENIERO QUÍMICO

Ing. Luis Cano R.

CROMATOGRAFÍA BIOGÁS
RELLENO SANITARIO JACHAGUANGO
POZO 2
SALCEDO – COTOPAXI - ECUADOR
Realizado por: ING. LUIS CANO
Fecha: 09/11/2015

Luis Cano R.
INGENIERO QUÍMICO

Datos generales

Denominación del gas : AGA Report 8 Gulf Coast
Presión : 39 PSI
Temperatura : 11 °C
Fecha : 09/11/2015
Hora : 08:00:00

Composición

Componente	Fracción molar [%]
Metano	: 51.35
Dióxido carbono	: 45.30
Nitrógeno	: 02.17
Etano	: 0.02
Propano	: 1.15
Hexano	: 0.01
Total	: 100

Poderes caloríficos

Temperatura de combustión (t1)	: 60 °F
Temperatura medición volumen (t2)	: 60 °F
Presión absoluta base	: 101.325 kPa
Norma	: ASTM 3588
Masa molecular (M)	: 28.4228 kg/kmol
Poder calorífico molar superior a t1	: 430.63 MJ/kmol
Poder calorífico molar inferior a t1	: 388.2 MJ/kmol
Poder calorífico por unidad de masa superior a t1	: 15.15 MJ/kg
Poder calorífico por unidad de masa inferior a t1	: 13.66 MJ/kg
Factor compresibilidad a t2 (Z)	: 0.9974
Densidad a t2 (rho)	: 1.203 kg/m3
Densidad molar a t2 (db)	: 0.04232 kmol/m3
Densidad aire a t2	: 1.223 kg/m3
Densidad relativa a t2 (Gr)	: 0.9836
Poder calorífico volumétrico superior a t1/t2	: 18.23 MJ/m3
Poder calorífico volumétrico inferior a t1/t2	: 16.43 MJ/m3

Indice de Wobbe superior a t1/t2 : 18.38 MJ/m3
Indice de Wobbe inferior a t1/t2 : 16.57 MJ/m3

Cálculo

Programa : Programa ZGas V: 3, 0, 5, 0
Método : Norma ASTM D3588 : 1998

GAS PROPERTIES @ 14.7 psig & 60° F		
Gross Heating Value	469.8	BTU / ft ³
Net Heating Value	423.3	BTU / ft ³
Molecular Weight	28.1	lb/lb-mol
Compresibility Factor	0.9945	
Density	0.0744	lb / ft ³
S.G.	0.9745	
Density	1.1927	Kg / m ³

GAS PROPERTIES @ 40 psig & 68 °F		
Compresibility Factor	0.9903	
Density	0.2738	lb / ft ³
S.G.	0.9787	
Density	4.3892	Kg / m ³

Análisis Realizado por:

Luis Cano R.
INGENIERO QUÍMICO



.....
Ing. Luis Cano R.

CROMATOGRAFÍA BIOGÁS
RELLENO SANITARIO JACHAGUANGO
POZO 3
SALCEDO – COTOPAXI - ECUADOR
Realizado por: ING. LUIS CANO
Fecha: 07/12/2015

Luis Cano R.
INGENIERO QUÍMICO

Datos generales

Denominación del gas : AGA Report 8 Gulf Coast
Presión : 40 PSI
Temperatura : 13 °C
Fecha : 07/12/2015
Hora : 08:00:00

Composición

Componente	Fracción molar [%]
Metano	53.80
Dióxido carbono	40.38
Nitrógeno	04.31
Etano	0.00
Propano	1.80
Heano	0.01
Total	100

Poderes caloríficos

Temperatura de combustión (t1)	:	60 °F
Temperatura medición volumen (t2)	:	60 °F
Presión absoluta base	:	101.325 kPa
Norma	:	ASTM 3588
Masa molecular (M)	:	28.1398 kg/kmol
Poder calorífico molar superior a t1	:	414.02 MJ/kmol
Poder calorífico molar inferior a t1	:	373.28 MJ/kmol
Poder calorífico por unidad de masa superior a t1	:	14.71 MJ/kg
Poder calorífico por unidad de masa inferior a t1	:	13.27 MJ/kg
Factor compresibilidad a t2 (Z)	:	0.9976
Densidad a t2 (rho)	:	1.191 kg/m3
Densidad molar a t2 (db)	:	0.04231 kmol/m3
Densidad aire a t2	:	1.223 kg/m3
Densidad relativa a t2 (Gr)	:	0.9735
Poder calorífico volumétrico superior a t1/t2	:	17.52 MJ/m3
Poder calorífico volumétrico inferior a t1/t2	:	15.79 MJ/m3

Indice de Wobbe superior a t1/t2 : 17.75 MJ/m3
Indice de Wobbe inferior a t1/t2 : 16.01 MJ/m3

Cálculo

Programa : Programa ZGas V: 3, 0, 5, 0
Método : Norma ASTM D3588 : 1998

GAS PROPERTIES @ 14.7 psig & 60° F		
Gross Heating Value	589.6	BTU / ft ³
Net Heating Value	531.8	BTU / ft ³
Molecular Weight	28.3	lb/lb-mol
Compresibility Factor	0.9945	
Density	0.0750	lb / ft ³
S.G.	0.9828	
Density	1.2028	Kg / m ³

GAS PROPERTIES @ 80 psig & 78 °F		
Compresibility Factor	0.9803	
Density	0.4739	lb / ft ³
S.G.	0.9971	
Density	7.5979	Kg / m ³

Análisis Realizado por:

Luis Cano R.
INGENIERO QUIMICO



Ing. Luis Cano R.