



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI  
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y  
APLICADAS  
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE  
POTENCIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“DETERMINAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO PARA LA GENERACIÓN DE  
ELECTRICIDAD CON EL BIOGÁS EMITIDO EN EL RELLENO SANITARIO DEL  
CANTÓN SALCEDO”.**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título  
de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia.

Autor:

Diego Enrique Villacis Toapanta.

Director:

Mg. Vicente Javier Quispe Toapanta.

LATACUNGA-ECUADOR

MAYO-2016

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante: Villacis Toapanta Diego Enrique con el título de Proyecto de Investigación: **“Determinar el potencial energético para la generación de electricidad con el biogás emitido en el relleno sanitario del cantón Salcedo”** ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, 13 de abril del 2016

Para constancia firman:

.....  
Dra. Iliana Gonzales

LECTOR 1

.....  
Ing. Xavier Proaño

LECTOR 2

.....  
Msc. Rommel Suárez

LECTOR 3

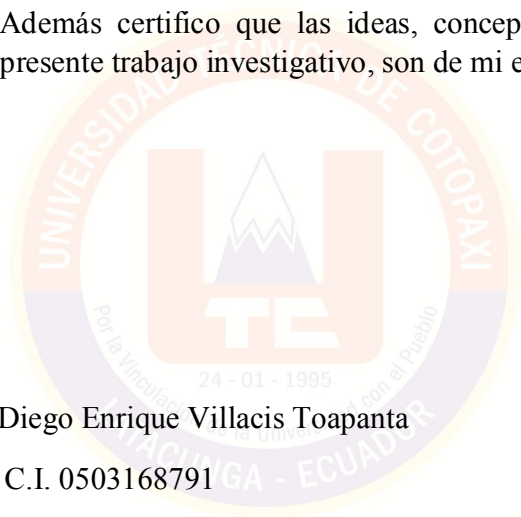
## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Yo **Diego Enrique Villacis Toapanta** declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“DETERMINAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON EL BIOGÁS EMITIDO EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SALCEDO”**, siendo el Mg.Vicente Javier Quispe Toapanta Director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Diego Enrique Villacis Toapanta

C.I. 0503168791

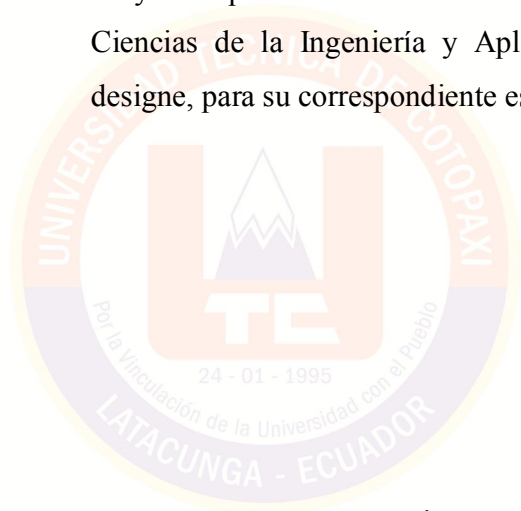


Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

### **AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS**

En calidad de Director del Trabajo de Investigación sobre el tema: “**DETERMINAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON EL BIOGÁS EMITIDO EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SALCEDO**”, de Diego Enrique Villacis Toapanta, de la carrera Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, abril de 2016.



Mg. Vicente Javier Quispe Toapanta  
**DIRECTOR**

## AGRADECIMIENTO



# Universidad Técnica de Cotopaxi

Quiero agradecer a Dios, por darme la vida y la sabiduría necesaria para cumplir con una etapa más de mi vida. A mis padres y hermanos por creer en mí, gracias por todo el apoyo que he recibido de ustedes porque fueron el sustento y la base fundamental para permitirme seguir hacia adelante.

Diego



## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo en primer lugar a Dios por ser el dueño de mi vida y permitirme vivir éste momento, a mi familia: padres hermanos, esposa y de manera muy especial al tesoro más grande de mi vida que es mi hija Hanna Mayte quienes han sido el pilar fundamental para alcanzar una meta importante en mi vida académica.

Diego

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TÍTULO:**Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia

**Autor:** Diego Enrique Villacis Toapanta

### RESUMEN

En el presente estudio se determinó el potencial energético para la generación de electricidad con el biogás emitido en el relleno sanitario de San Pedro de Jachaguango perteneciente al cantón Salcedo, en donde se genera biogás por la descomposición natural de los residuos sólidos y éste es absuelto libremente y se dispersa en el aire, causando así contaminación y produciendo malos olores en el sector, por lo que se identificó uno de los problemas del relleno sanitario que es la falta de tratamiento del biogás produciendo contaminación de los recursos naturales como son aire, tierra y agua.

Para lo cual se dio inicio con el presente proyecto de investigación, con la determinación de la cantidad de residuos sólidos que ingresan a disposición final, luego de clasificar los residuos reciclables se obtuvo un valor de 6461469 kg de residuo sólido generado en el año 2015.

Se realizó el cálculo de la población de acuerdo a los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Censo dando una proyección de 63491 habitantes al año 2015 con un índice de crecimiento de 1.75 % determinado para la provincia de Cotopaxi, con la población y la cantidad de residuos se obtuvo un promedio de 101.77 kg de basura por habitante, lo que permitió proyectar la cantidad de residuos sólidos al año 2024. George Tchobanoglous plantea dos ecuaciones, las mismas que dan la pauta y el inicio para la determinación del Biogás generado en los rellenos sanitarios mediante la resolución de ecuaciones se obtiene el biogás expresado en litros por kg de residuo.

Luego de determinar la cantidad de biogás generado en el relleno sanitario del cantón Salcedo se determinó su potencial energético brindándonos como resultado 10484503 m<sup>3</sup> de biogás en 24 años de producción lo que nos brindaría 12791094 kwh al ser aprovechados con motores de generación.

Se analizó los resultados y se determinó que podemos iniciar la operación en el año 2016 e instalar un motor de 60 Kw que abastecerá a un promedio de 20 casas del sector San Pedro de Jachaguango, para lo que se recomendó instalar un motor que trabaje con una mezcla de biogás y diesel, para lo cual se adjuntó un presupuesto referencial el cual asciende a 377'300.00

Palabras Claves: Descomposición, Biogás, Relleno, Demanda, Generación

## ABSTRACT

In the present study was determined the energy potential for electricity generation with biogas emitted in the sanitary landfill of San Pedro de Jachaguango belonging to Salcedo city was determined, where biogas is generated by the natural decomposition of solid waste and this is absolved freely and dispersed in the air, causing pollution and producing unpleasant odors in the sector, so was identified of the problems of sanitary landfill that is the lack of treatment of biogas producing pollution of natural resources such as air, land and Water.

For which was initiated with this research project, with the determination of the amount of solid waste entering final disposal, after sorting recyclables waste was obtained a value of 6461469 kg of solid waste generated in 2015.

The calculation of the population according to data provided by the National Institute of Statistics and Census giving a projection of 63491 inhabitants by 2015 with a growth rate of 1.75% determined for the province of Cotopaxi, with the population and amount of waste was obtained an average of 101.77 kg of waste per inhabitant, which allowed project the amount of solid waste in 2024. George Tchobanoglous raises two equations, the same as the pattern and starting for determining the biogas generated in sanitary landfills by solving equations is obtained biogas expressed in liters per kg of residue.

After determining the amount of biogas generated in the sanitary landfill of Salcedo city was determined its energy potential as a result giving us 10484503 m<sup>3</sup> of biogas in 24 years which would give us 12,791,094 kwh to be exploited with generation engines.

The results were analyzed and determined that we can start operation in 2016 and install a engine of 60 kw that will supply an average of 20 houses in the sector San Pedro de Jachaguango, for which it was recommended to install an engine that works with a mixture of biogas and diesel, for which was attached a reference budget which ascends to 377'300.00.

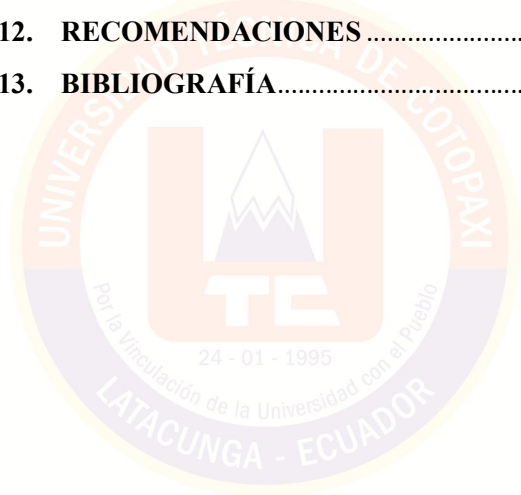
Key words: descomposition, Biogás, landfill, demand, generation.



## ÍNDICE

<b>1. INFORMACIÓN GENERAL</b> .....	XIV
1.1. TIPO DE PROYECTO: .....	XIV
1.2. PROPÓSITO: .....	XIV
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b> .....	XVI
<b>3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO</b> .....	XVII
<b>4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO</b> .....	XVIII
<b>5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	XIX
<b>6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.</b> .....	XX
6.1. Biogás .....	XX
6.1.1. Que es el Biogás .....	XX
6.1.2. Biogás de un relleno sanitario .....	XX
6.1.3. Constitución del biogás .....	XXI
6.1.4. Propiedades del biogás .....	XXI
6.1.5. Características del Biogás .....	XXII
6.1.6. Potencial energético del biogás .....	XXII
6.1.7. Manejo del biogás en rellenos sanitarios .....	XXII
6.1.8. Reseña histórica de la generación de electricidad con biogás .....	XXIV
6.2. Motores para generación de electricidad .....	XXVI
6.2.2. Motor a gasolina .....	XXVIII
6.2.3. Motor a diesel .....	XXIX
6.3. Generación de Energía Eléctrica en el Relleno Sanitario de San Pedro de Jachaguango .....	XXX
6.3.1. Generación de residuos sólidos urbanos .....	XXX
6.3.2. Determinación de la cantidad de residuos sólidos .....	XXXI
6.3.3. Proyección de Población del Cantón Salcedo .....	XXXII
6.3.4. Proyección de Residuos sólidos urbanos .....	XXXIII
6.3.5. Determinación del volumen del biogás por kg .....	XXXIV
6.3.6. Biogás generado .....	39
6.3.7. Transformación de biogás a generación de electricidad .....	XL
6.4. DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....	XLI
6.4.1 Proyección de la demanda .....	XLI

<b>7. OBJETIVOS</b> .....	XLIII
7.1. OBJETIVO GENERAL.....	XLIII
7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	XLIII
<b>8. OBJETIVOS ESPECIFICOS, ACTIVIDADES Y METODOLOGÍA</b> .....	XLIII
<b>9. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	XLIV
9.1. PROPUESTA .....	XLV
<b>10. VALORACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA</b> .....	XLVII
10.1. Evaluación Técnica .....	XLVIII
10.2. Evaluación Económica .....	XLIX
10.3. Ventajas Socioeconómicas .....	L
<b>11. CONCLUSIONES</b> .....	L
<b>12. RECOMENDACIONES</b> .....	LI
<b>13. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	LI



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERIA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE**  
**POTENCIA**

Fecha: Latacunga 13 de abril del 2016.

Estimado

Ingeniero Ángel León

**COORDINADOR DE LACARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

Presente.

Yo, Diego Enrique Villacis Toapanta, con cédula de ciudadanía No. 050316879-1, en calidad de estudiante de la Carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, solicito a usted se digne autorizar la inscripción del tema: **“DETERMINAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON EL BIOGÁS EMITIDO EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SALCEDO”**, en la modalidad de Trabajo de Titulación

Proyecto de investigación	X
Otra Modalidad asignada por la carrera	

Línea de investigación: Explotación y diseño de sistemas eléctricos

Área donde propone desarrollar la investigación: Relleno Sanitario de San Pedro de Jachaguango perteneciente al Cantón Salcedo

Período: Abril 2016

En el presente trabajo de investigación se determinará el potencial energético para la generación de electricidad mediante el análisis de la cantidad de Biogás emitido en el relleno sanitario del Cantón Salcedo, mediante la recolección de información del manejo del relleno sanitario y su cuantía de desechos sólidos urbanos. Esto nos permitirá generar energía eléctrica limpia y reducir el efecto invernadero que ocasionamos al planeta con la emisión de gases tóxicos.

Para cuyo efecto conozco y acepto las disposiciones establecidas en las reglamentaciones de la Universidad Técnica de Cotopaxi para el proceso de titulación.

Atentamente,

Nombres completos: Diego Enrique Villacis Toapanta.  
Dirección: Barrio Chipualó, Línea Férrea y E35.  
Teléfono: 032-730-156  
Celular: 0992816734  
Correo electrónico: [diego\\_evp@hotmail.com](mailto:diego_evp@hotmail.com)

Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

**INFORME DEL DIRECTOR Y TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

DATOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	
Nombre del Estudiante	DIEGO ENRIQUE VILLACIS TOAPANTA
Título del Proyecto	“DETERMINAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON EL BIOGÁS EMITIDO EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SALCEDO”
Sub línea de Investigación.	EXPLOTACIÓN Y DISEÑO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS
DATOS DEL DIRECTOR DE PROYECTO	
Nombre completo	Mg. VICENTE JAVIER QUISPE TOAPANTA
DATOS DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN I (si fuera distinto del Director)	
Nombre completo	

INFORME	
Evalúe el progreso del Proyecto de Investigación con relación a lo establecido en el plan de investigación y al desarrollo de las actividades formativas	
Favorable    X	Desfavorable

Fecha: Abril del 2016

.....  
PhD. Secundino Marreno.

.....  
Mg. Vicente Quispe

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

### Título del Proyecto:

**“DETERMINAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON EL BIOGÁS EMITIDO EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SALCEDO”**

### 1.1.TIPO DE PROYECTO:

- |                               |                          |
|-------------------------------|--------------------------|
| 1. Investigación formativa    | <input type="checkbox"/> |
| 2. Investigación Aplicada     | <input type="checkbox"/> |
| 3. Investigación Evaluativa   | <input type="checkbox"/> |
| 4. Investigación Experimental | <input type="checkbox"/> |
| 5. Investigación Tecnológica  | X                        |

### 1.2.PROPÓSITO:

- |   |                          |
|---|--------------------------|
| - Obtener información para plantear proyecto de mayor trascendencia | <input type="checkbox"/> |
| - Dar atención a problemas o necesidades locales                    | X                        |
| - Establecer relación con otras entidades                           | <input type="checkbox"/> |
| - Resolver problemas identificados en la universidad                | <input type="checkbox"/> |

**Fecha de inicio:**

02 de marzo del 2016

**Fecha de finalización:**

13 de abril del 2016

**Lugar de ejecución:**

Sierra, Cotopaxi, Salcedo, San Pedro de Jachaguango

**Unidad Académica que auspicia**

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

**Carrera que auspicia:**

Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia

**Equipo de Trabajo:**

Diego Enrique Villacis Toapanta

**Cédula:** 0503168791**Dirección:** Barrio Chipoaló, Línea Férrea y E35.**Teléfono:** 032-730-156**Celular:** 0992816734**Correo electrónico:** [diego\\_evp@hotmail.com](mailto:diego_evp@hotmail.com)**Coordinador del Proyecto****Cédula:** 0502918014**Nombre:** Mg. Vicente Quispe

Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

**Celular:** 0984700557  
**Correo electrónico:** viche\_chente09@yahoo.com  
**Área de Conocimiento:** Ingeniería y tecnología eléctrica  
**Línea de investigación:** Explotación y diseño de sistemas eléctricos

## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

En el presente proyecto se ha visto conveniente determinar el potencial energético para la generación de electricidad utilizando el biogás emitido en el relleno sanitario del cantón Salcedo y éste poder utilizarlo para cubrir una carga determinada del sector. A su vez que promovemos la reducción del efecto invernadero que causa un impacto ambiental negativo que provoca a nuestro planeta a causa del gas metano producido en el relleno sanitario, mejorando así los niveles de pureza del aire y optimizando los recursos naturales para generar energía eléctrica limpia.

A los Gobiernos Autónomos Descentralizados se les ha otorgado la labor de la gestión y manejo de los desechos sólidos urbanos, involucrando el tratamiento y disposición final de los mismos, este tratamiento se produce en los centros de disposición final o rellenos sanitarios, es así que para dar solución integral al problema se han encontrado con una barrera, ocasionada debido a la falta de infraestructura correcta y a la poca instauración de procesos de servicios eficientes para el manejo, tratamiento y disposición final de los gases producidos en los rellenos sanitarios.

En la actualidad los combustibles fósiles componen el recurso energético más común, sin embargo, su alta dependencia en el desarrollo económico y su uso desmedido se ha convertido en una problemática, debido a su escasez y a la contaminación ambiental que produce su utilización, causando un efecto invernadero en el planeta.

Adicionalmente, la captación del biogás disminuirá de una manera considerable la contaminación y malos olores de la zona, así como también reducirá el potencial de efecto invernadero que tiene el metano cuando es inyectado directamente a la atmósfera.

De acuerdo a los datos proveídos por el último censo de población y vivienda realizado por el INEC en el año 2010; refleja que en el cantón Salcedo existe una población total de 58216 habitantes



subdivididos en: 30336 mujeres que corresponden al 52.11% y 27880 son hombres y representan a un 47.89% de la población Salcedense.

Lo anterior, ha motivado la necesidad de optar por opciones de fuentes renovables que satisfagan de igual manera la necesidad energética y, a su vez, que garanticen un desarrollo sostenible.

Al problema de contaminación ambiental que ocasionan los combustibles fósiles, se suma la problemática de la producción descontrolada de residuos sólidos urbanos, que crece debido a la economía de consumo y a los desarrollos tecnológicos, creando la necesidad de gestionarlos, controladamente, además del aprovechamiento posterior a su producción.

Debido al poder calorífico del biogás es posible su aprovechamiento mediante combustión, dependiendo de su captación, quemándolo y transformándolo en energía eléctrica mediante motores de combustión interna, sustituyendo a los combustibles tradicionales.

Creando conciencia en la población, de una gestión controlada de los residuos urbanos, se puede, entonces, pensar en un aprovechamiento energético del biogás, como una fuente de un recurso renovable.

### **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

A nivel mundial existen diversos trabajos de investigación de energías renovables y alternativas, los cuales están encaminados a contribuir al cuidado ambiental. En los últimos años se ha hecho gran énfasis en el desarrollo de biocombustibles capaces de reemplazar energías no renovables causantes de una parte de la degradación ambiental.

Hoy en día a partir de la generación de biogás, es posible obtener energías mediante la implementación de dispositivos, como los motores de gas, para la generación de energía eléctrica. Este tipo de tecnología ha sido utilizada en algunos países del mundo aprovechando con éxito los recursos renovables.

El desarrollo del sector energético en el Ecuador vive una nueva era. Prima la visión de soberanía, protección ambiental y sostenibilidad. Los recursos naturales son la base del desarrollo económico y

social. Dentro de este contexto la energía juega un papel catalizador para mantener el crecimiento económico alcanzado en los últimos años.

Por éstas razones se ha visto conveniente determinar el potencial energético que nos brindan los residuos sólidos urbanos para la generación de electricidad, utilizando el biogás emitido en el relleno sanitario del cantón Salcedo y éste poder utilizarlo para cubrir la demanda de una determinada carga del sector.

En el relleno sanitario de San Pedro de Jachaguango perteneciente al cantón salcedo se ha realizado el tratamiento adecuado a los residuos sólidos que ahí se depositan, como primer punto, cubriendo la capa razanteada con geomembrana que protege el escape de lixiviados a la capa vegetal, evitando así la contaminación de a tierra y que los lixiviados lleguen a lechos o ríos del sector. Como segundo punto se ha depositado los residuos sólidos, los mismos que han sido compactados en capas, con tierra del sector. Como tercer punto se han construido chimeneas par la evacuación de los gases generados por la descomposición de los residuos, los cuales en la actualidad se escapan libremente y se dispersan en el aire, causando así contaminación y produciendo malos olores en el sector. Éste proyecto se realiza para aprovechar los gases y reducir el efecto invernadero que éstos provocan en la atmosfera.

#### 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Con la ejecución de éste proyecto se beneficiarán las 13 familias que viven en los alrededores del relleno sanitario del Cantón Salcedo ya que serán quienes consuman la energía eléctrica generada en mencionado relleno en la tabla siguiente se muestran los beneficiados directos.

**Tabla N°1** Beneficiarios directos del proyecto

ITEM	APELLIDOS Y NOMBRES	Kwh MES
1	CHAVEZ DIAZ JOSE MESIAS	57
2	PEREZ NARANJO MOISES	63
3	PEREZ NARANJO MOISES	98
4	SANCHEZ CRUZ PATRICIA VERONICA	21
5	CRUZ RAMON HERNAN	41
6	PEREZ CRUZ MENTOR ORLANDO	0
7	MONCAYO MORA MARIANA DE JESUS	0
8	TELLO CRUZ YOLANDA SOLEDAD	150
9	SANCHEZ CRUZ FREDY ELIAS	84
10	CRUZ NARANJO ELIAS NOE	239

11	SANCHEZ TOSCANO JORGE FERNANDO	37
12	CRUZ RAMON FABIAN	89
13	CHAVEZ DIAZ JUDITH CARLOTA	134
	<b>TOTAL</b>	1013
	<b>PROMEDIO POR CLIENTE</b>	77.92

**Elaborado por:** Diego Villacis

Los beneficiarios indirectos son los 63491 Salcedenses al 2015 que dispondrán de un relleno sanitario en óptimas condiciones y que el mismo les permitirá generar su propia energía eléctrica.

## 5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En el cantón de intervención del Proyecto, una de las primeras demandas prioritarias ha sido dar un óptimo manejo y procesamiento de los desechos sólidos urbanos, enmarcados siempre en las normas ambientales vigentes.

En la actualidad el principal problema es la emanación y la fuga directa de los gases producto de la descomposición de los desechos sólidos que produce el Cantón, que han sido previamente clasificados y tratados en el relleno sanitario, estos gases provocar inconvenientes, malestar y problemas con la salud a determinado grupo de personas, las cuales trabajan directamente en el relleno sanitario, o a su vez son las personas que viven en los alrededores del sector.

Un problema no menos importante es el efecto que estos gases estimulan a la destrucción de nuestro medio ambiente.

La población del cantón Salcedo en esta última década ha ido creciendo, esto hace que exista un consumo excesivo de recursos naturales y procesados, este aprovechamiento sirve para satisfacer las necesidades humanas, pero también como resultados del mismo genera una gran cantidad de desechos sólidos urbanos.

Entre estos desechos sólidos, podemos clasificarlos como materiales orgánicos e inorgánicos, que una vez utilizados, pierden su utilidad y valor, los mismos que son recogidos por los recolectores del Municipio de Salcedo, para ser trasladados y depositados al relleno sanitario de San Pedro de Jachaguango manejados de forma manual.

Uno de los problemas que presentan el relleno sanitario en análisis, es que no dispone de un manejo adecuado de los gases emanados, producidos por la descomposición natural de los desechos sólidos. Produciendo así, graves problemas a la comunidad por la generación de malos olores y la contaminación de los recursos naturales aire, agua y suelo.

## **6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.**

### **6.1. Biogás**

#### **6.1.1. Que es el Biogás**

El biogás es un gas producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de material orgánico en condiciones anaeróbicas (sin aire). La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan el material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente. Este proceso que genera biogás es una fuente de energía renovable.

#### **6.1.2. Biogás de un relleno sanitario**

Un relleno sanitario es un lugar donde se depositan los residuos sólidos urbanos domiciliarios o de diferente índole. Una superficie determinada de tierra o una excavación que también puede ser una quebrada que recibe residuos sólidos domiciliarios, residuos sólidos industriales, comerciales y/o lodos no peligrosos.

Según la literatura especializada, cualquier lugar donde los residuos sólidos domiciliarios se encuentran siendo depositados en grandes cantidades, es en principio, un biorreactor que genera

gases y lixiviados, lo que dependerá de una serie de variables relacionadas a las características de la basura, del lugar de disposición final, de la forma de disposición, al clima y a distintos factores.

### 6.1.3. Constitución del biogás

El biogás está compuesto por una mezcla de gases principalmente Metano y Dióxido de Carbono a más de otros gases que se detallan en la tabla a continuación:

**Tabla N° 2** Constitución del biogás

Componente	Porcentaje Aproximado (%)
Metano (CH <sub>4</sub> )	45 a 60
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	40 a 60
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	2 a 5
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	0.1 a 1.0
Sulfuro de Hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0 a 1.0
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	0.1 a 1.0
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	0 a 0.2
Monóxido de Carbono (CO)	0 a 0.2
Constituyentes en Cantidades Traza	0.01 a 0.6

**Fuente:** George Tchobanoglous, Gestión Integral de Residuos Sólidos, Página 431. (1994)

Dándole el metano la potencia energética al biogás. El metano se forma de la asociación de un átomo de carbono y cuatro átomos de hidrógeno y su fórmula como está expresada en la tabla anterior es CH<sub>4</sub>. El metano es un gas volátil e inflamable, lo que le permite ser un combustible muy eficaz.

### 6.1.4. Propiedades del biogás

El biogás es un gas más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de entre los 600 y los 700 °C. Cuando se produce la combustión del biogás la llama de éste puede alcanzar hasta los 870 °C.

El poder calorífico del biogás depende del contenido de metano que posea, su poder calorífico varía de entre 3,500 kcal/m<sup>3</sup> (45% de CH<sub>4</sub>) a 5,250 kcal/m<sup>3</sup> (60% de CH<sub>4</sub>), lo que supone de 4.07 kWh/m<sup>3</sup> a 6.11 kWh/m<sup>3</sup>, respectivamente, pudiendo llegar éste valor hasta los 6.95 kWh/m<sup>3</sup>, si el porcentaje de CH<sub>4</sub> alcanza el 70%

### 6.1.5. Características del Biogás

El biogás posee las siguientes características

- *Grado de Inflamación:* 6 a 12% vol. Aire
- *Temperatura de Inflamación:* 600°C
- *Presión crítica:* 82 bar.
- *Temperatura crítica:* -82,5°C.
- *Peso específico:* 1.2 kg/m<sup>3</sup>.

### 6.1.6. Potencial energético del biogás

En donde 1 m<sup>3</sup> de biogás es equivalente a:

- 0.61 l. de gasolina
- 0.583 l. de keroseno
- 0.55 l. de diesel
- 1.5 m<sup>3</sup> de gas natural
- 1.22KWh de energía eléctrica
- 0.5 a 1,5 Kg. de madera
- 0.74 Kg. de carbón vegetal
- 0.3 m<sup>3</sup> de propano
- 0.2 m<sup>3</sup> de butano

### 6.1.7. Manejo del biogás en rellenos sanitarios

El gas de los rellenos sanitarios se los puede manejar mediante drenajes, los cuales pueden ser pasivos y/o activos. El drenaje activo se lo hace succionando el gas con un soplador, mientras que cuando se hace el drenaje pasivo, se controla la emanación natural de los gases, con el fin de evacuarles únicamente por los orificios previstos. Se obtiene una mayor eficiencia con el drenaje activo, pero cabe mencionar que los costos del drenaje pasivo son mucho más bajos.

### 6.1.7.1. Drenaje Activo

En los sistemas que posean el método de drenaje activo, se extrae el gas con un soplador que se conecta con las chimeneas. Posterior a esto se transporta los gases hasta el incinerador por un sistema de tubería bajo el relleno sanitario.

El drenaje pasivo dispone de los siguientes sectores.

Colector de gas

Punto de recolección

Separador de agua

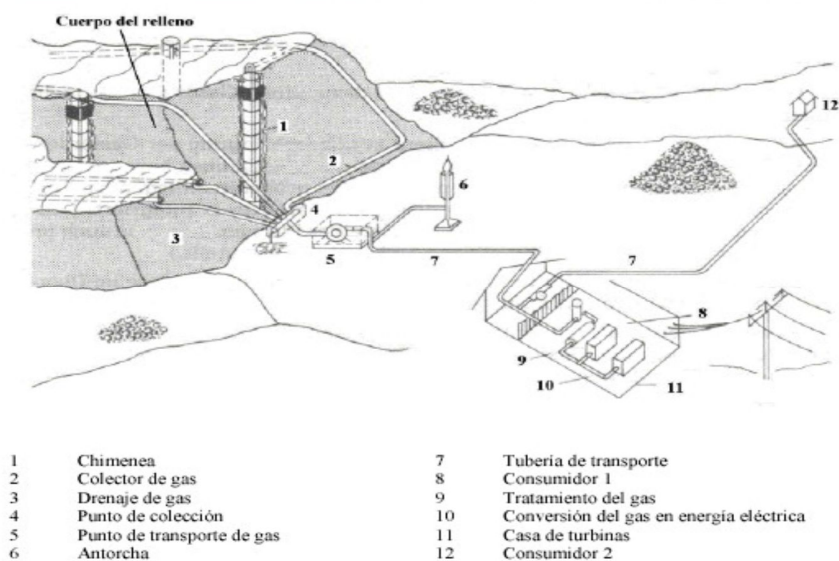
Tubo de aspiración de gas

Casa del soplador

Tubo de transporte

Antorcha

Tratamiento de gas (Incinerador, tratamiento, generación eléctrica etc)



**Figura N° 1** Sistema de drenaje activo

Fuente: Ingeniería química (2004)

### 6.1.7.2. Drenaje Pasivo

El biogás que se genera en un relleno sanitario se mueve en las capas de residuos sólidos en él depositados, es decir horizontalmente.

En el drenaje pasivo existen dos formas de evacuación del biogás generado, la una es cuando el relleno sanitario es construido con chimeneas y la otra es sin chimeneas de recolección.

#### 6.1.7.2.1. Drenaje con chimeneas de recolección

**Según Roben, 2002:**

**Éste método aprovecha la difusión horizontal de los gases dentro del relleno sanitario, construyendo y colocando pozos de forma verticales a lo largo del relleno. Los gases se difunden hacia los pozos de recolección y salen a través de ellos de forma controlada al exterior del relleno. Los pozos de recolección tienen una alta permeabilidad de gases por lo que se desaloja una gran cantidad de éstos.**

#### 6.1.7.2.1. Drenaje sin chimeneas de recolección

En éste método el gas se difunde por la capa de recubrimiento superior y/o por los taludes laterales, que tiene un impacto como filtro biológico. El gas generado por la descomposición natural de los residuos sólidos, se mezcla con el aire y se diluye.

**Según Colmenares, W., Santos, K., 2007:**

**Por lo general, el drenaje pasivo sin pozos de recolección no es recomendado y se debe usar solo en los siguientes casos; si el municipio donde se instala el relleno sanitario no dispone de recursos para construir chimeneas, para evacuar gases de un relleno que no tiene ningún sistema de drenaje o si se tiene un relleno manual con mala compactación.**

#### 6.1.8. Reseña histórica de la generación de electricidad con biogás



Los primeros indicios sobre biogás se remontan al año 1600 identificados por distintos científicos como un gas que proviene de la descomposición natural o provocada de los residuos.

Posterior a las guerras mundiales empiezan a difundirse en Europa las fábricas productoras de biogás cuyo producto se utilizaba en tractores y automóviles de aquellas épocas. El gas generado se utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se lo llegó a inyectar en la red de gas comunal.

Durante los años de la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India, que se transforman en líderes en la materia. Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y recién en la crisis energética de la década de los 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos.

Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania. A nivel latinoamericano, se ha desarrollado tecnología propia en la Argentina para el tratamiento de vinazas, residuo de la industrialización de la caña de azúcar.

En Brasil y Colombia se encuentran utilizando sistemas europeos bajo licencia. El avance de esta técnica ha permitido que importantes ciudades del mundo, como es el caso de Santiago de Chile en América Latina, incluyan un importante porcentaje de gas procedente de esta fuente en la red de distribución urbana de gas natural.

Ilustración gráfica de los pasos específicos a seguir para la generación de electricidad mediante la utilización de biogás.

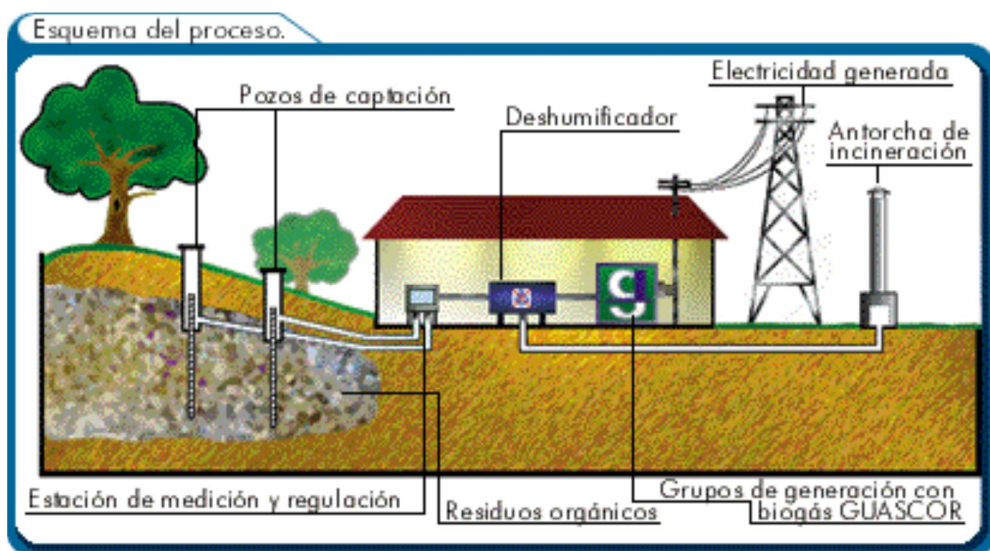


Figura N° 2 Esquema generación de electricidad.

Fuente: Técnicas Energéticas, Facultad de Ingeniería-UBA (2013)

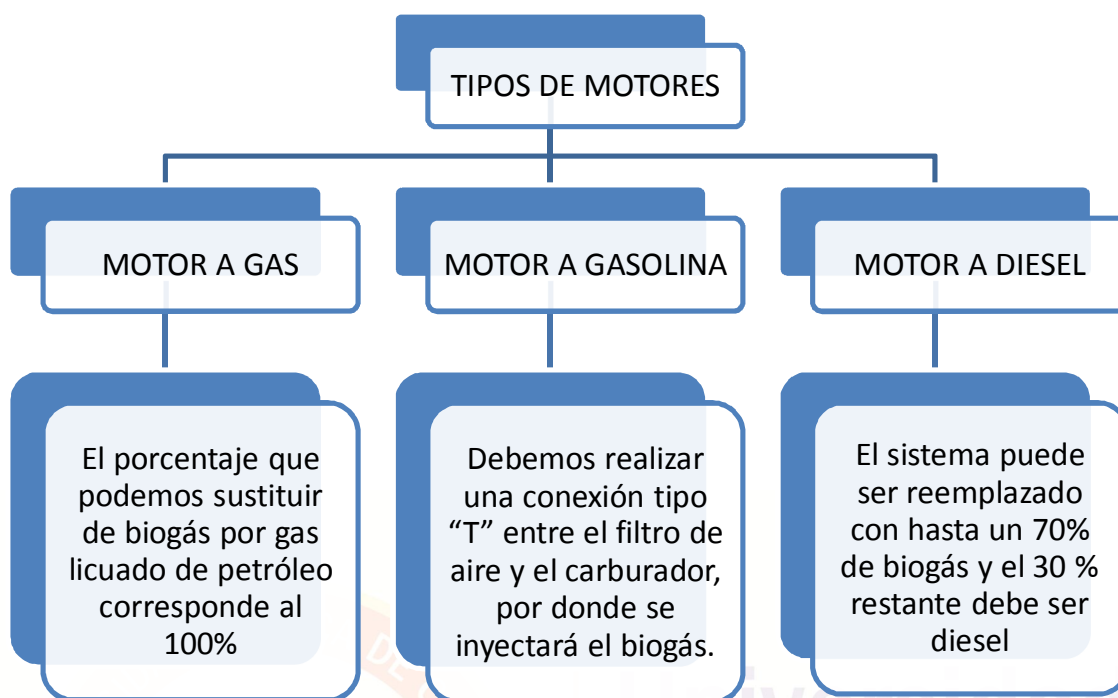


Figura N° 3 Fases para la generación de electricidad.

Fuente: Empresa pública municipal de aseo de Cuenca. (2012)

## 6.2. Motores para generación de electricidad

Para la generación eléctrica mediante la utilización de biogás, es necesario alimentar la combustión interna con biogás. Para lo cual detallamos los tipos de motores que se podrían utilizar.



**Figura N° 4** Tipos de motores

Elaborado por: Diego Villacis

### 6.2.1. Motor a gas

Los motores a gas mecánicamente son similares a los motores de combustión a gasolina, la única diferencia está en la recepción del combustible. En los motores a gas, esta recepción se realiza por medio de una válvula que regula la presión con la que se introduce el gas directamente en el carburador.

Las reformas que se deben ejecutar a este motor para utilizarlo en la generación de electricidad por medio de la inyección de biogás, es cambiando levemente la presión que se inyecta el gas, para que concuerde con las condiciones del biogás.

Por lo que podemos realizar una conexión de la tubería de biogás al sistema y así trabajar con un sistema mixto que permita la utilización de gas licuado de petróleo y/o biogás.

Usualmente las plantas con turbina de gas son utilizadas para entrar en funcionamiento y cubrir cargas pico, como un sistema de respaldo cuando así lo requiera el sistema, si podemos disponer de

un combustible barato como puede ser el biogás, el sistema puede utilizarse para cubrir la cargabasa.

Componentes principales de una planta con turbina de gas

Compresor

Cámara de combustión

Turbina.

### Diagrama de los componentes principales de una planta con turbina de gas

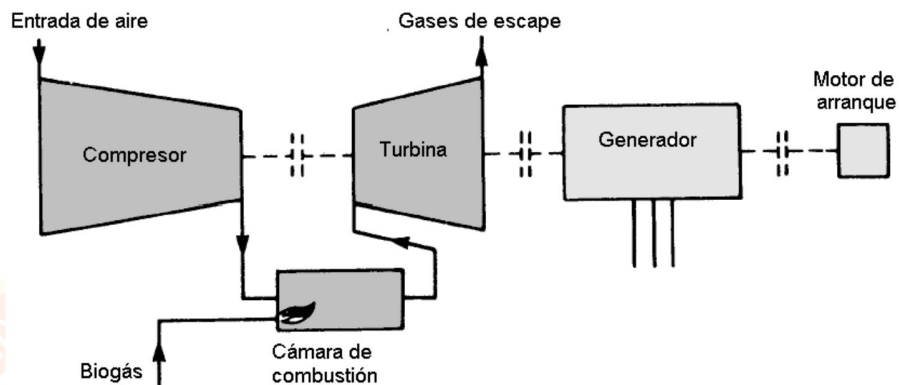


Figura N° 5 Componentes principales de una planta con turbina de gas.

Elaborado por: Diego Villacis

### Cámara de combustión

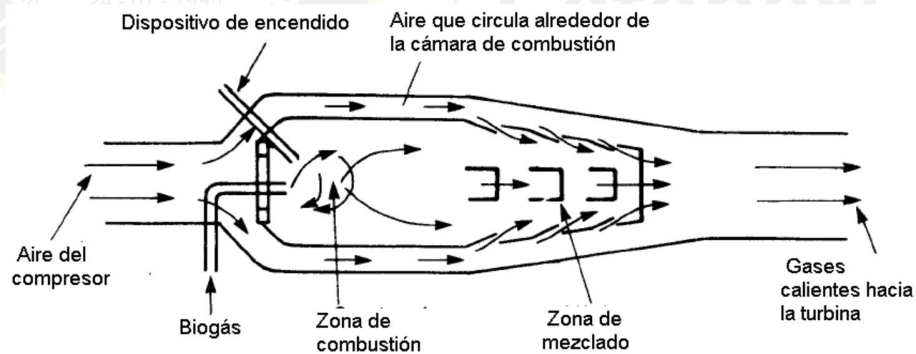


Figura N° 6 Cámara de combustión.

Elaborado por: Diego Villacis

## 6.2.2. Motor a gasolina

Los motores a gasolina, fácilmente pueden ser utilizados con biogás, para lo cual únicamente debemos realizar una conexión tipo “T” entre el filtro de aire y el carburador, por donde se inyectará el biogás.

Para esta operación, se debe tener en cuenta muchos aspectos para que el motor a gasolina opere a entera satisfacción:

Evitar el paso de gasolina mientras el sistema funciona con biogás

Suministrar el biogás de una manera constante.

El filtro de aire debe estar siempre limpio.

Instalar una válvula que permita administrar el biogás que ingresa al sistema.

### 6.2.3. Motor a diesel

Para que éste sistema funcione con biogás se debe realizar los trabajos similares al de los motores a gasolina, es decir se debe realizar una conexión tipo “T” entre el filtro y el sistema de admisión de aire, con la diferencia de que el sistema puede ser reemplazado con hasta un 70% de biogás y el 30 % restante debe ser diesel para que el sistema funcione con normalidad y no sufra alteraciones.

Para poner en marcha el motor se debe utilizar el 100% de diesel y posteriormente se irá regulando hasta alcanzar los parámetros establecidos anteriormente que es 70% biogás y 30% diesel.

Mezclador de aire Biogás

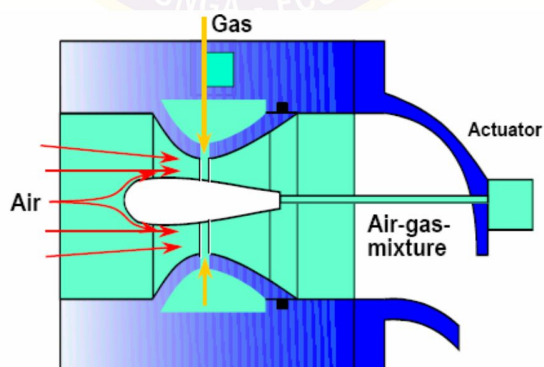


Figura N° 7 Esquema mezclador de aire Biogás

Fuente: Aplicaciones del biogás



Figura N° 8 Mezclador de aire Biogás

Fuente: Aplicaciones del biogás

### **6.3. Generación de Energía Eléctrica en el Relleno Sanitario de San Pedro de Jachaguango**

La generación en corriente alterna está basada en la ley de Faraday-Lenz. Cuando existe movimiento relativo entre un conductor eléctrico y un campo magnético (imán) se produce una fuerza electromotriz (fem) que hace circular corriente eléctrica por el conductor. Por lo tanto se produce así la electricidad.

Para determinar el potencial energético del biogás producido en el relleno sanitario de San Pedro de Jachaguango perteneciente al Cantón Salcedo se realizará la adquisición de los siguientes datos que nos permitirán concluir con nuestros objetivos.

#### **6.3.1. Generación de residuos sólidos urbanos**

En un relleno sanitario, los variados componentes de los residuos sólidos se degradan anaeróbicamente a diferentes tasas. Por ejemplo, los alimentos se descomponen más rápido que los productos de papel. Aunque el cuero, la goma y algunos plásticos también son materias orgánicas, usualmente se resisten a la biodegradación. Ciertos materiales lignocelulósicos, plásticos, textiles y otras materias orgánicas son muy resistentes a la descomposición vía organismos anaeróbicos.

##### **6.3.1.1. Clasificación de los residuos sólidos**

Entre los RSU que ingresan al relleno sanitario del cantón Salcedo se encuentran los residuos reciclables y los residuos que se almacena en la disposición final.

Dentro del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Salcedo y a través de su dirección de Gestión Ambiental ha venido desarrollando proyectos y campañas para la concientización en materia de tratamiento de desechos sólidos, siendo la ciudadanía del Cantón el principal autor para su uso correcto.

Desde aproximadamente cuatro años atrás el GAD Salcedo ha creado el proyecto de reciclaje, para lo cual se han depositado dos tachos de basura de diferente color, el uno de ellos pretende recolectar

todos los residuos sólidos reciclables, y el otro que su fin es recoger residuos no reciclables, los cuales son de color verde y negro respectivamente.

Entre los residuos reciclables tenemos recolectados por la asociación que labora en el relleno sanitario tenemos, colas, plásticos, soplado, duro, papel, chatarra aluminio, tarros, manguera, cartón, ponymalta, zapatillas, botas.

### 6.3.2. Determinación de la cantidad de residuos sólidos

Con los datos proporcionados por la dirección de gestión ambiental del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Salcedo, se describe la cantidad de residuos sólidos urbanos que ingresan a disposición final en el relleno sanitario de San Pedro de Jachaguango.

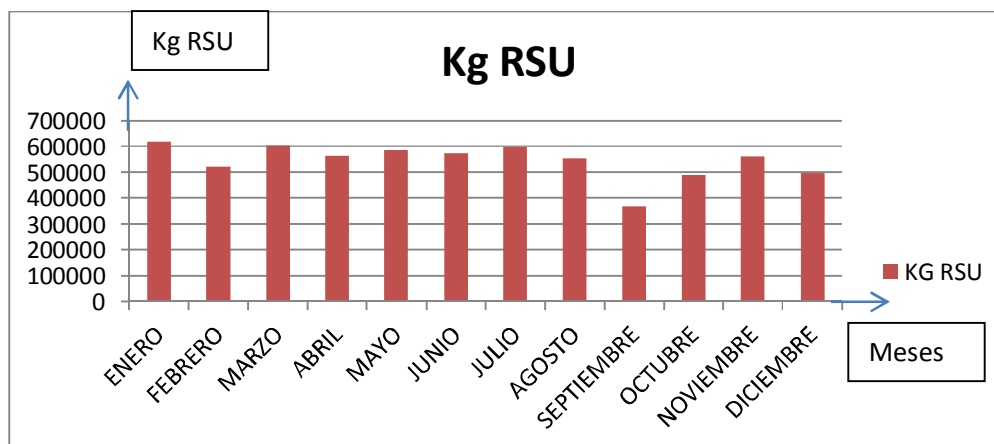
**Tabla N° 3** Residuos sólidos urbanos obtenidos ingresados al relleno sanitario en el año 2015.

MESES	PESAJE DE RSU QUE INGRESAN AL RELLENO SANITARIO AÑO 2015	MATERIAL RECICLADO PLANTA DE RECICLAJE RELLENO SANITARIO Año 2015	RSU DEPOSITADOS DISPOSICIÓN FINAL RELLENO SANITARIO
	KG	KG	KG
ENERO	617867	7377	610490
FEBRERO	522692	7218	515474
MARZO	604400	5833	598567
ABRIL	562596	5782	556814
MAYO	584840	9357	575483
JUNIO	573400	6422	566978
JULIO	597470	6134	591336
AGOSTO	552868	5370	547498
SEPTIEMBRE	368070	3499	364571
OCTUBRE	488550	5117	483433
NOVIEMBRE	561150	1274	559876
DICIEMBRE	495090	4141	490949
TOTAL	6528993	67524	6461469

**Fuente:** Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Salcedo. (2016)

**Elaborado por:** Diego Villacis

Gráfica residuos sólidos urbanos ingresados al relleno sanitario en el año 2015

**Figura N° 9** RSU obtenidos ingresados al relleno sanitario en el año 2015

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Salcedo. (2016)

Elaborado por: Diego Villacis

### 6.3.3. Proyección de Población del Cantón Salcedo

En la tabla podemos observar el crecimiento poblacional del cantón salcedo al año 2024, con un incremento poblacional de 1.75% para la provincia de Cotopaxi según el Instituto Nacional de Estadística y Censo.

**Tabla N° 4** Proyección de la población del cantón Salcedo al año 2024

Población Salcedo INEC 2010		Año 2015			
2010	58216	RSU kg/hab/año	RSU ingresados a la disposición final		
2011	59235				
2012	60271				
2013	61326				
2014	62399				
2015	63491			101.77	6461469
2016	64602				
2017	65733				
2018	66883				
2019	68054				
2020	69245				
2021	70456				



2022	71689
2023	72944
2024	74221

**Elaborado por:** Diego Villacis

En la tabla N° 4 podemos determinar que la cantidad de residuos sólidos que ingresan al relleno sanitario son 6461469 kg.y la población al año 2015 son 63491 habitantes. Lo que nos permite deducir que por cada habitante del cantón Salcedo se genera 101.77 kg de residuos sólidos.

#### 6.3.4. Proyección de Residuos sólidos urbanos

**Tabla N° 5** Proyección de residuos sólidos urbanos del relleno sanitario del cantón Salcedo

N° de años	Población Urbana Salcedo INEC 2010		RSU (kg)
Considerado solo para efectos de cálculo	2010	58216	5924602
	2011	59235	6028282
	2012	60271	6133777
	2013	61326	6241119
	2014	62399	6350338
1	2015	63491	6461469
2	2016	64602	6574545
3	2017	65733	6689599
4	2018	66883	6806667
5	2019	68054	6925784
6	2020	69245	7046985
7	2021	70456	7170307
8	2022	71689	7295788
9	2023	72944	7423464
10	2024	74221	7553375

**Elaborado por:** Diego Villacis

Con los datos obtenidos en la proyección de la población podemos concluir que por cada habitante se tiene un promedio de 101.77 kg de RSU

### 6.3.5. Determinación del volumen del biogás por kg.

Para estimar el volumen del biogás generado en el relleno Sanitario de San Pedro de Jachaguango perteneciente al cantón Salcedo se han aplicado métodos teóricos, éstos disponen de constantes que han sido generadas con residuos sólidos que poseen características similares a las que poseemos en el relleno Sanitario de San Pedro de Jachaguango, razón por la cual el cálculo que a continuación se propone es un aproximado a lo más real en generación de biogás del relleno sanitario de San Pedro de Jachaguango.

A pesar de la falta de similitud de la descomposición anaeróbica en los diferentes tipos de rellenos sanitarios, se han desarrollado algunas fórmulas experimentales para predecir la cantidad de metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que se genera de la descomposición de la celulosa y otros materiales orgánicos.

Para determinar el volumen de biogás producido en el relleno sanitario de San Pedro de Jachaguango perteneciente al cantón Salcedo de acuerdo al tipo de residuo sólido urbano, se parte de dos ecuaciones planteadas por George Tchobanoglous donde indica lo siguiente:

RSU degradables rápidamente



RSU degradables lentamente



Tenemos la densidad del metano y bióxido de carbono.

$CH_4 = 0.72 \text{ g/l}$
$CO_2 = 1.98 \text{ g/l}$

Generación de biogás en RSU degradables rápidamente

$$\frac{560 \text{ g CH}_4}{1741 \text{ g RB (0.72 g CH}_4/\text{ l CH}_4)} = 446.7 \text{ l CH}_4/\text{Kg RB}$$

$$\frac{1452 \text{ g CO}_2}{1741 \text{ g RB (1.98 g CO}_2/\text{ l CO}_2)} = 421.2 \text{ l CO}_2/\text{kg RB}$$

Obtenemos la producción de Biogás  $446.7 + 421.2 = 867.90 \text{ l biogás/kg} = 13.9 \text{ ft}^3/\text{lb}$

Generación de biogás enRSU degradables lentamente

$$\frac{176 \text{ g CH}_4}{427 \text{ g LB (0.72 g CH}_4/\text{ l CH}_4)} = 572.5 \text{ l CH}_4/\text{kg LB}$$

$$\frac{396 \text{ g CO}_2}{427 \text{ g LB (1.98 g CO}_2/\text{ l CO}_2)} = 468.4 \text{ l CO}_2/\text{kg LB}$$

Obtenemos la producción de Biogás  $572.5 + 468.4 = 1049.90 \text{ l biogás/kg} = 16.7 \text{ ft}^3/\text{lb}$

Fórmula para transformación:

$$\frac{1 \text{ biogás}}{\text{kg Residuo}} = \frac{\text{ft}^3}{62.38 \text{ lb residuo}}$$

Para obtener valores más reducidos, Tchobanoglous multiplica los valores resultantes por la fracción en base seca y por el porcentaje de la materia que efectivamente se biodegrada.

Fracción en base seca=0.448 y 0.73 para RB y LB respectivamente

Fracción de la materia que efectivamente se biodegrada=0.75 y 0.5 para RB y LB respectivamente

$$\frac{0.448 \times 0.75 \times 13.9 \text{ biogas}}{\text{lb RB}} = \frac{4.704 \text{ ft}^3}{\text{lb residuos sólidos (89\%)}}$$

$$\frac{0.073 \times 0.50 \times 16.7 \text{ biogas}}{\text{lb LB}} = \frac{0.584 \text{ ft}^3}{\text{lb residuos sólidos (11\%)}}$$

Sumando los dos valores obtenemos 5.288 ft<sup>3</sup>/lb residuo sólido al 100%

Para transformar a l/kg multiplicamos por 62.38 y obtendríamos un valor de 329.9 l biogás/kg residuo sólido.

El valor que obtenemos es 329.9 l biogás/kg el cual está muy por arriba del valor propuesto que es de 150 l biogás/kg, para lo cual George Tchobanoglous formula ajustes requeridos para entrar en el rango establecido.

$$\begin{aligned} (0.67) \times (0.80) \times G_{RB} &= 133.50 \text{ (89\%)} \\ (0.13) \times (0.70) \times G_{LB} &= 16.50 \text{ (11\%)} \\ \text{Total} &= 150.00 \text{ (100 \%)} \end{aligned}$$

Los valores obtenidos de acuerdo a George Tchobanoglous de la producción de biogás por la clase de residuos de acuerdo a su biodegradabilidad son los siguientes:

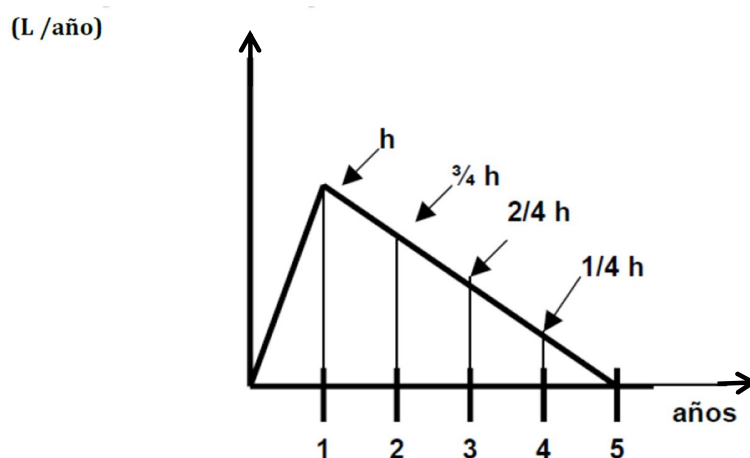
GRB=250 l biogás/kg RB

GLB=180 l biogás/kg LB

Para calcular la producción total de biogás sumados los residuos rápida y lentamente biodegradable se utilizará los valores de 133.50 y 16.50 l biogás/kg.

Determinamos la producción de biogás respecto al tiempo para residuos que se degradan rápidamente para lo cual empleamos la siguiente figura que corresponde a 133.70 l biogás producido por cada kg de residuos sólidos.

Producción de biogás por kg rápidamente biodegradable



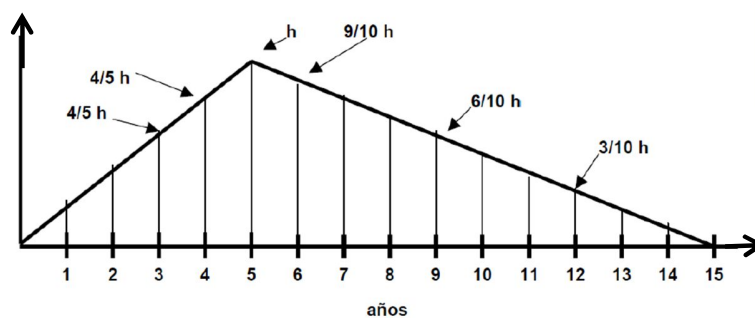
**Figura N° 10** Producción de biogás rápidamente biodegradable por 1 kg de RSU

Fuente: George Tchobanoglous. (1994)

La generación de biogás es igual a la sumatoria de las áreas bajo la curva.

Determinamos la producción de biogás respecto al tiempo para residuos que se degradan lentamente lo cual empleamos la siguiente figura que corresponde a 16.39 l biogás producido por cada kg de residuos sólidos.

Producción de biogás por kg lentamente biodegradable  
(l/año)



**Figura N° 10** Producción de biogás lentamente biodegradable por 1 kg de RSU

Fuente: George Tchobanoglous. (1994)

La generación de biogás es igual a la sumatoria de las áreas bajo la curva

Con la deducción de las figuras anteriores se obtienen los siguientes resultados.

**Tabla N° 6** Producción de biogás acumulada por kg de RSU en ltr

<b>Año</b>	<b>RB</b>	<b>LB</b>	<b>TOTAL</b>
1	26.7	0.22	26.92
2	46.7	0.66	47.36
3	33.5	1.09	34.59
4	20.1	1.53	21.63
5	6.7	1.97	8.67
6	---	2.07	2.07
7	---	1.86	1.86
8	---	1.64	1.64
9	---	1.42	1.42
10	---	1.2	1.2
11	---	0.98	0.98
12	---	0.76	0.76
13	---	0.55	0.55
14	---	0.33	0.33
15	---	0.11	0.11
<b>TOTAL</b>	<b>133.7</b>	<b>16.39</b>	<b>150.09</b>

**Fuente:** George Tchobanoglous. (1994)

Con los datos anteriores de generación de biogás anual y datos de residuos sólidos urbanos se realizó la proyección de los mismos para determinar la recuperación de biogás para el relleno sanitario de San Pedro de Jachaguango perteneciente al cantón Salcedo.

### 6.3.6. Biogás generado

**Tabla N° 7** Cálculo del biogás que podrá generarse en el relleno sanitario de San Pedro de Jachaguango durante 24 años, el cual está expresado m<sup>3</sup>

GENERACIÓN TOTAL DE RSU Kg/año	PRODUCCIÓN TOTAL/AÑO l/kg RSU	PRODUCCIÓN DE ACUERDO AL AÑO DEL PRESENTE ESTUDIO DEL RELLENO SANITARIO DE SAN PEDRO DE JACHAGUANGO EN LTS.										AÑO DE PRODUCCIÓN	GENERACIÓN POR NIVEL DE m <sup>3</sup>	GENERACIÓN ACUMULADA m <sup>3</sup>	
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024				
6461469	26.92	173942745.48											1	173942.75	173942.75
6574545	47.36	306015171.84	176986743.53										2	483001.92	656944.66
6689599	34.59	223502212.71	311370437.35	180084011.54									3	714956.66	1371901.32
6806667	21.63	139761574.47	227413501.43	316819420.00	183235481.74								4	867229.98	2239131.30
6925784	8.67	56020936.23	142207402.02	231393237.71	322363759.85	186442102.67							5	938427.44	3177558.74
7046985	2.07	13375240.83	57001302.61	144696031.56	235442619.37	328005125.65	189704839.47						6	968225.16	4145783.90
7170307	1.86	12018332.34	13609307.54	57998825.41	147228212.11	239562865.21	333745215.35	193024674.16					7	997187.43	5142971.33
7295788	1.64	10596809.16	12228653.16	13847470.43	59013804.85	149804705.82	243755215.35	339585756.62	196402605.96				8	1025235.02	6168206.35
7423464	1.42	9175285.98	10782253.32	12442654.59	14089801.16	60046546.44	152426288.17	248020931.62	345528507.36	199839651.56			9	1052351.92	7220558.27
7553375	1.20	7753762.80	9335853.48	10970942.75	12660401.04	14336372.68	61097361.00	155093748.22	252361297.92	351575256.24	203336845.46		10	1078521.84	8299080.11
	0.98	6332239.62	7889453.65	9499230.92	11162934.25	12881958.06	14587259.20	62166564.82	157807888.81	256777620.63	357727823.22		11	896832.97	9195913.09
	0.76	4910716.44	6443053.81	8027519.09	9665467.46	11358285.60	13107392.33	14842536.24	63254479.70	160569526.87	261271228.99		12	553450.21	9749363.29
	0.55	3553807.95	4996653.98	6555807.26	8168000.67	9834613.14	11557055.60	13336771.69	15102280.62	64361433.10	163379493.59		13	300845.92	10050209.21
	0.13	839990.97	3615999.59	5084095.42	6670533.88	8310940.68	10006718.87	11759304.07	13570165.20	15366570.53	65487758.18		14	140712.08	10190921.29
	0.11	710761.59	854690.81	3679279.58	5173067.09	6787268.22	8456382.15	10181836.45	11965091.89	13807643.09	15635485.52		15	77251.51	10268172.79
			723199.92	869647.90	3743666.97	5263595.77	6906045.42	8604368.83	10360018.59	12174481.00	14049276.84		16	62694.30	10330867.10
				735855.92	884866.74	3809181.15	5355708.69	7026901.21	8754945.29	10541318.92	12387534.42		17	49496.31	10380363.41
					748733.39	900351.91	3875841.82	5449433.59	7149871.98	8908156.83	10725792.00		18	37758.18	10418121.59
						761836.23	916108.07	3943669.05	5544798.68	7274994.74	9064049.57		19	27505.46	10445627.05
							775168.36	932139.96	4012683.26	5641832.66	7402307.15		20	18764.13	10464391.18
								788733.81	948452.41	4082905.21	5740564.73		21	11560.66	10475951.83
									802536.65	965050.32	4154356.06		22	5921.94	10481873.78
										816581.04	981938.70		23	1798.52	10483672.30
											830871.21		24	830.87	10484503.17

Elaborado por: Diego Villacis

### 6.3.7. Transformación de biogás a generación de electricidad

El uso del biogás luego de que ha sido recolectado es utilizado como combustible para la generación de electricidad, la misma que se distribuye mediante redes locales o se transmite hasta algún consumidor cercano para satisfacer la demanda calculada del sector. La utilización de biogás como fuente de energía local se presenta como una oportunidad de contribución adicional al desarrollo sustentable y como una fuente de generación de empleo, inversión extranjera y desarrollo local. La venta de energía puede generar ingresos adicionales para rentabilizar la operación de un relleno sanitario y la recolección de biogás más allá del mínimo que se colecta en la actualidad.

**Tabla N° 8** Transformación de biogás a generación de electricidad.

AÑO DE PRODUCCIÓN	Generación anual de Biogás en m <sup>3</sup>	Generación acumulada de Biogás en m <sup>3</sup>	Generación en m <sup>3</sup> Biogás al día por años	Generación de Biogás en m <sup>3</sup> por hora	Propiedad de biogás por m <sup>3</sup> en kwh	kwh a generar anualmente	kwh a generar al día	kwh a generar cada hora
1	173942.75	173942.75	476.56	19.86	1.22	212210.15	581.40	24.22
2	483001.92	656944.66	1323.29	55.14	1.22	589262.34	1614.42	67.27
3	714956.66	1371901.32	1958.79	81.62	1.22	872247.13	2389.72	99.57
4	867229.98	2239131.30	2375.97	99.00	1.22	1058020.57	2898.69	120.78
5	938427.44	3177558.74	2571.03	107.13	1.22	1144881.47	3136.66	130.69
6	968225.16	4145783.90	2652.67	110.53	1.22	1181234.69	3236.26	134.84
7	997187.43	5142971.33	2732.02	113.83	1.22	1216568.67	3333.06	138.88
8	1025235.02	6168206.35	2808.86	117.04	1.22	1250786.73	3426.81	142.78
9	1052351.92	7220558.27	2883.16	120.13	1.22	1283869.34	3517.45	146.56
10	1078521.84	8299080.11	2954.85	123.12	1.22	1315796.65	3604.92	150.21
11	896832.97	9195913.09	2457.08	102.38	1.22	1094136.23	2997.63	124.90
12	553450.21	9749363.29	1516.30	63.18	1.22	675209.25	1849.89	77.08
13	300845.92	10050209.21	824.24	34.34	1.22	367032.02	1005.57	41.90
14	140712.08	10190921.29	385.51	16.06	1.22	171668.73	470.33	19.60
15	77251.51	10268172.79	211.65	8.82	1.22	94246.84	258.21	10.76
16	62694.30	10330867.10	171.77	7.16	1.22	76487.05	209.55	8.73
17	49496.31	10380363.41	135.61	5.65	1.22	60385.50	165.44	6.89
18	37758.18	10418121.59	103.45	4.31	1.22	46064.98	126.21	5.26
19	27505.46	10445627.05	75.36	3.14	1.22	33556.66	91.94	3.83
20	18764.13	10464391.18	51.41	2.14	1.22	22892.24	62.72	2.61
21	11560.66	10475951.83	31.67	1.32	1.22	14104.00	38.64	1.61
22	5921.94	10481873.78	16.22	0.68	1.22	7224.77	19.79	0.82
23	1798.52	10483672.30	4.93	0.21	1.22	2194.19	6.01	0.25
24	830.87	10484503.17	2.28	0.09	1.22	1013.66	2.78	0.12



Elaborado por: Diego Villacis

## 6.4. DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

**Tabla N° 9** Demanda de energía eléctrica del sector San Pedro de Jachaguango

APELLIDOS Y NOMBRES	Kwh/MES	USD	Promedio USD/Kwh	Kwh/DIA	Consumo por hora
CHAVEZ DIAZ JOSE MESIAS	57	3.99	0.07000	1.90	0.079
PEREZ NARANJO MOISES	63	4.57	0.07254	2.10	0.088
PEREZ NARANJO MOISES	98	6.58	0.06714	3.27	0.136
SANCHEZ CRUZ PATRICIA VERONICA	21	6.31	0.30048	0.70	0.029
CRUZ RAMON HERNAN	41	2.37	0.05780	1.37	0.057
PEREZ CRUZ MENTOR ORLANDO	0	1.73		0.00	0.000
MONCAYO MORA MARIANA DE JESUS	0	1.69		0.00	0.000
TELLO CRUZ YOLANDA SOLEDAD	150	19.73	0.13153	5.00	0.208
SANCHEZ CRUZ FREDY ELIAS	84	31.18	0.37119	2.80	0.117
CRUZ NARANJO ELIAS NOE	239	99.53	0.41644	7.97	0.332
SANCHEZ TOSCANO JORGE FERNANDO	37	7.51	0.20297	1.23	0.051
CRUZ RAMON FABIAN	89	6.03	0.06775	2.97	0.124
CHAVEZ DIAZ JUDITH CARLOTA	134	17.77	0.13261	4.47	0.186
<b>TOTAL</b>	<b>1013</b>	<b>208.99</b>	<b>0.20631</b>	<b>33.77</b>	
<b>PROMEDIO POR CLIENTE</b>	<b>77.92</b>	<b>16.08</b>			<b>1.407</b>

**DEMANDA A SATISFACER DE UNA MUESTRA DE CASAS**

1.41 Kwh

DEMANDA A SATISFACER AL AÑO 2022 CON UN INCREMENTO DEL 4.8 %

2.47 Kwh

Elaborado por: Diego Villacis

### 6.4.1 Proyección de la demanda

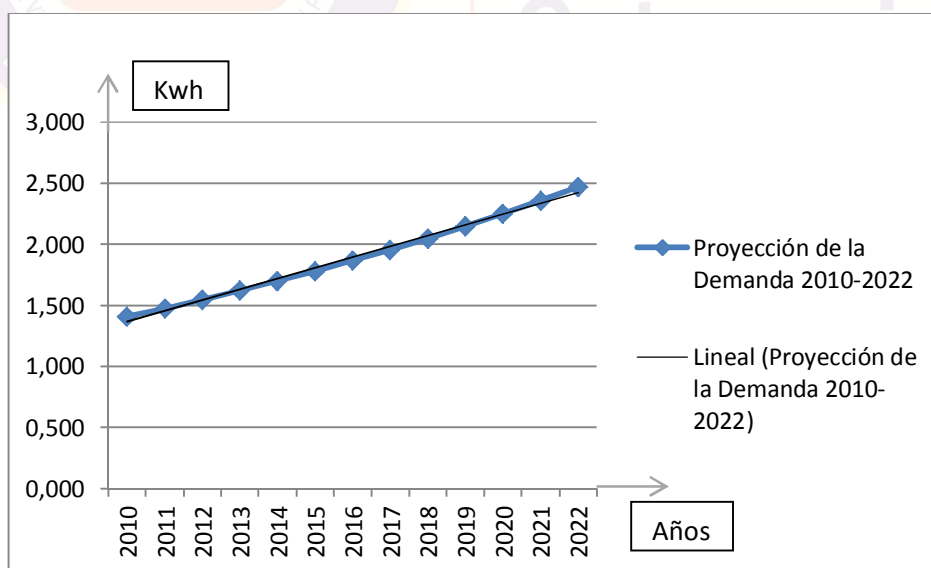
Proyectamos la demanda en base a una muestra de trece casas del sector San Pedro de Jachaguango con una tasa de incremento del 4.8 % para el consumo residencial determinado en el Plan Maestro de Electrificación 2013-2022.

**Tabla N° 10** Proyección de la demanda 2010 - 2022

Años	Kwh
2010	1.407
2011	1.475
2012	1.545
2013	1.619
2014	1.697
2015	1.779
2016	1.864
2017	1.954
2018	2.047
2019	2.146
2020	2.249
2021	2.357
2022	2.470

Elaborado por: Diego Villacis

**Proyección de la Demanda 2010-2022**



**Figura N° 11** Diagrama proyección de la demanda.

Elaborado por: Diego Villacis

## 7. OBJETIVOS

### 7.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar el potencial energético para la generación de electricidad mediante el análisis de la cantidad de biogás emitido en el relleno sanitario del cantón Salcedo.

### 7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recolectar información del manejo del relleno sanitario del cantón Salcedo y su cuantía de desechos sólidos urbanos para determinar la cantidad de biogás generado mediante cálculos técnicos.
- Determinar la demanda de energía requerida por el sector para satisfacer ésta necesidad mediante el manejo y uso apropiado del biogás.
- Determinar el potencial energético y posible equipo a ser utilizado mediante un análisis de los mismos.

## 8. OBJETIVOS ESPECÍFICOS, ACTIVIDADES Y METODOLOGÍA

Objetivo 1	Recolectar información del relleno Sanitario del cantón Salcedo	Obtener datos de los residuos sólidos que ingresan a disposición final.	Mediante la aplicación el uso de datos estadísticos para realizar su proyección en RSU.
------------	---	---	---

Objetivo 2	Determinar la demanda de energía	Obtener datos de las viviendas y su consumo promedio mensual	Mediante el muestreo del consumo mensual de las viviendas.
Objetivo 3	Determinar el potencial energético y equipos a utilizar	Obtener la cantidad de energía en kwh	Mediante la obtención del biogás y cálculo con su potencial energético y el análisis de los tipos de equipos disponibles para su generación

## 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se analizan los resultados del presente estudio y se elabora un resumen de los mismos.

Datos elevados al año 2016 como una muestra

Población del cantón Salcedo INEC:

64602 habitantes

RSU que ingresan a disposición final en el relleno sanitario:

6574545 kg

Demanda energética del grupo de 13 casas del sector San Pedro de Jachaguango 2016:

2.47kwh

Biogás generado

656944 m<sup>3</sup>/año

Potencial energético

67.27 kwh

Un metro cúbico de biogás combustionado en su totalidad, equivale para:

- Generar 1.22 kw de electricidad
- Encender un foco de 60 W por el lapso de 6 horas
- Hacer que un motor de 1 HP funcione durante 2 horas

### 9.1.PROPUUESTA

Se proyecta arrancar la operación en el año 2016 e instalar un motor de 60 Kw que abastecerá a un promedio de 20 casas del sector San Pedro de Jachaguango en condiciones normales.

El motor que se recomienda instalar es un motor que trabaje con una mezcla de biogás y diesel, para lo cual se ha consultado un motor que podría ser utilizado y que cumpliera las características técnicas iniciales solicitadas, el cual a continuación se detallan sus características.

Características técnicas del motor y del generador de energía.

Generador	WEG línea G de 60 kw
Capacidad del generador	60 kw
Voltaje generado	220/440 volts
Factor de potencia	0.8
Frecuencia (hz)	60
RPM del motor	1800 rpm
Fases	3
Hilos	4
Ciclo de operación	Continuo y/o intermitente
Régimen de sobrecarga	10% hasta 2 horas. c/24 horas
Motor	TUG 6.354.4
Potencia	90 bhp @ 1800 rpm
Número de cilindros	6 en línea
Desplazamiento cúbico	5.8 litros
Tiempos	4
Aspiración	Natural
Tipo de combustible	Biogás
Gobernación	4 % electrónica
Enfriamiento	50 % agua y 50 % anticongelante
Sistema eléctrico	12 v
Sistema de combustión	Omnitek
Tipo de encendido	Electrónico

**Elaborado por:** Diego Villacis

Costo referencial inicial del proyecto.

COSTO REFERENCIAL INICIAL
---------------------------

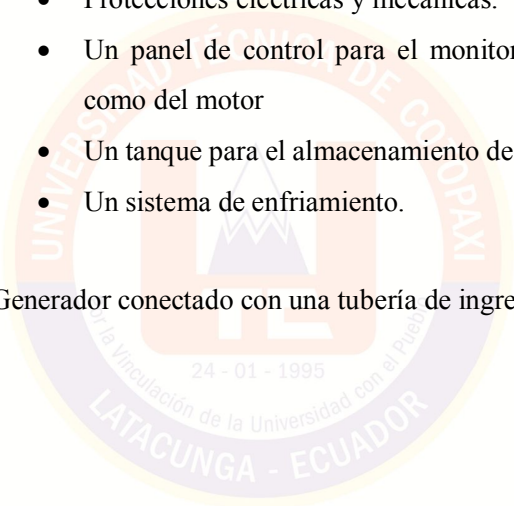
Descripción	valor	Unidad	Total
Sistema de extracción del biogás	1200.00	USD/kW	72000.00
Generación 60 kw	600.00	USD/kW	36000.00
Transformadores, interruptores y mediciones	40000.00	USD	40000.00
Ingeniería civil e instalaciones	55000.00	USD	55000.00
Conexión a la red	140000.00	USD	140000.00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>343000.00</b>
Imprevistos	10%	% de la inversión	34300.00
<b>TOTAL</b>			<b>377'300.00</b>

**Elaborado por:** Diego Villacis

La unidad generadora a diesel cuenta con las siguientes protecciones:

- Un interruptor principal de carga.
- Protecciones eléctricas y mecánicas.
- Un panel de control para el monitoreo de sus parámetros eléctricos tanto del generador como del motor
- Un tanque para el almacenamiento del diesel.
- Un sistema de enfriamiento.

Generador conectado con una tubería de ingreso de biogás.



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



**Figura N° 12** Generador a diesel.

**Fuente:** oripo.en.alibaba.com

## 10. VALORACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

La valoración técnico económica se realizará fundamentalmente enfocada a la problemática que se genera en el sector de San Pedro de Jachaguango en donde podemos describir que la población debe migrar a otras ciudades para conseguir una fuente de empleo, ya que las tierras del sector no son cultivables debido a la falta de agua de regadío o un determinado sistema de riego, razones por las cuales se incentiva este proyecto y se pretende brindar nuevas fuentes de empleo y mejorar la economía del sector al brindarles energía eléctrica a bajo costo, con lo cual la población podrá crear sus propias fuentes de empleo como microempresas, que podrían ser textiles, entre otras o a su vez podrían agruparse y formar una microempresa comunitaria, siempre y cuando uno de los factores significativos que incidan en el producto sea el consumo de energía.

En la tabla N° 12 siguiente tabla se indica la cantidad de consumo mensual en kwh que cada familia utiliza mensualmente, la cual pretende ser cubierta con la ejecución del presente proyecto.

**Tabla N° 12** Demanda de energía eléctrica del sector San Pedro de Jachaguango

APELLIDOS Y NOMBRES	Kwh/MES	USD	Promedio USD/Kwh	Kwh/día	Consumo por hora
CHAVEZ DIAZ JOSE MESIAS	57	3.99	0.07000	1.90	0.079
PEREZ NARANJO MOISES	63	4.57	0.07254	2.10	0.088
PEREZ NARANJO MOISES	98	6.58	0.06714	3.27	0.136
SANCHEZ CRUZ PATRICIA VERONICA	21	6.31	0.30048	0.70	0.029
CRUZ RAMON HERNAN	41	2.37	0.05780	1.37	0.057
PEREZ CRUZ MENTOR ORLANDO	0	1.73		0.00	0.000
MONCAYO MORA MARIANA DE JESUS	0	1.69		0.00	0.000
TELLO CRUZ YOLANDA SOLEDAD	150	19.73	0.13153	5.00	0.208
SANCHEZ CRUZ FREDY ELIAS	84	31.18	0.37119	2.80	0.117
CRUZ NARANJO ELIAS NOE	239	99.53	0.41644	7.97	0.332
SANCHEZ TOSCANO JORGE FERNANDO	37	7.51	0.20297	1.23	0.051
CRUZ RAMON FABIAN	89	6.03	0.06775	2.97	0.124
CHAVEZ DIAZ JUDITH CARLOTA	134	17.77	0.13261	4.47	0.186
<b>TOTAL</b>	1013	208.99	<b>0.20631</b>	33.77	
<b>PROMEDIO POR CLIENTE</b>	77.92	16.08			1.407

DEMANDA A SATISFACER DE UNA MUESTRA DE CASAS

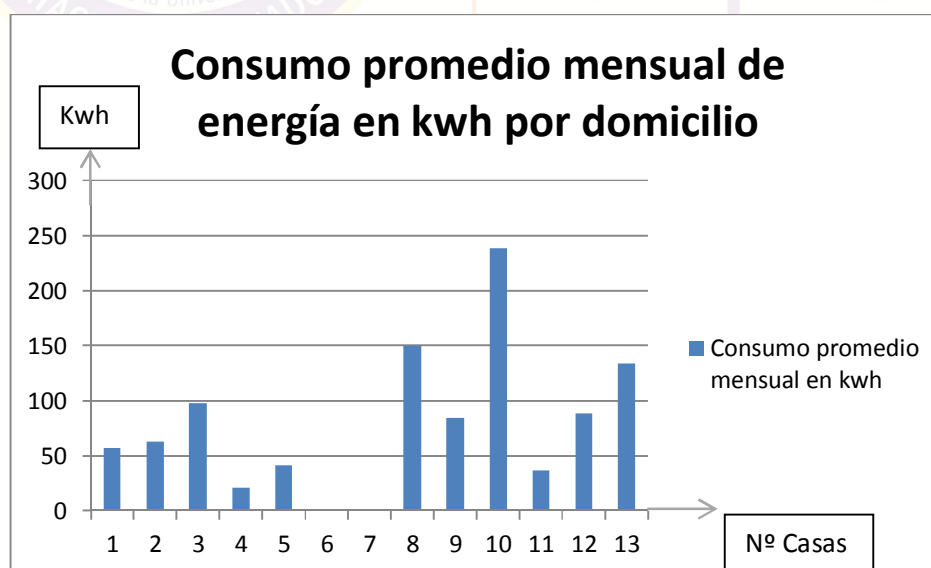
1.41 kwh

DEMANDA A SATISFACER AL AÑO 2022 CON UN INCREMENTO DEL 4.8 %

2.47 kwh

Elaborado por: Diego Villacis

### 10.1. Evaluación Técnica

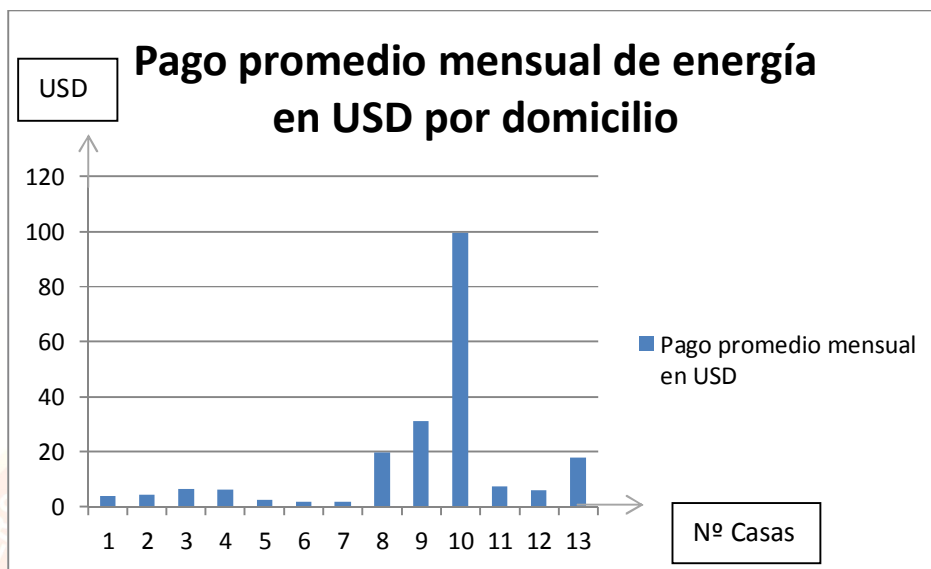




**Figura N° 13** Diagrama consumo promedio en Kwh por domicilio.

Elaborado por: Diego Villacis

**10.2. Evaluación Económica**



**Figura N° 14** Diagrama pago promedio mensual en USD por domicilio.

Elaborado por: Diego Villacis

Posterior a la ejecución y puesta en marcha del proyecto se deduce que la población de San Pedro de Jachaguango mejorará su economía. Analizando los factores de disponibilidad y los resultados obtenidos en el presente estudio, podemos concluir diferentes aspectos, tanto técnicos como económicos, los indican la reducción de gastos que se inyectará en cada una de las familias del sector al brindarles energía eléctrica gratuita o con un costo insignificante, de acuerdo a las políticas que se establecerán al momento de ejecutar el proyecto de generación eléctrica con el aprovechamiento del biogás del relleno sanitario.

**Ventajas Económicas**

El proyecto nos brinda ventajas económicas ya que con el uso del biogás podemos:  
 Generar energía eléctrica

Generar energía calorífica

### 10.3. Ventajas Socioeconómicas

Entre las ventajas que se generan con el proyecto se obtienen ventajas socioeconómicas, las cuales detallamos a continuación:

Reduce la utilización de energía externa del suministro de combustibles.

Mejora el desarrollo del sector de San Pedro de Jachaguango, brindando una oportunidad para el crecimiento agroindustrial.

Reduce significativamente la contaminación del medio ambiente.

Decrece la emisión de dióxido de carbono.

Permite la creación de nuevas plazas de trabajo al aprovechar la energía en el sector.

## 11. CONCLUSIONES

- En la actualidad se depende mucho de los combustibles fósiles para la generación de energía lo cual causa que se busque nuevas alternativas para la generación de energía de un modo sostenible y amigable para el medio ambiente.
- El proyecto de generación de energía eléctrica a partir de biogás tiene un enfoque ambiental, debido a que en la actualidad el biogás producido en el relleno sanitario es disperso directamente en el medio ambiente, lo cual crea un impacto ambiental negativo.
- En el sistema estudiado se determina que por cada kilogramo de residuo sólido del relleno sanitario de San Pedro de Jachaguango perteneciente al cantón Salcedo, se genera un total de 150 l biogás por kilogramo.
- La demanda que se debe cubrir en un muestreo de 13 casas del sector es de 2.47 kwh debido a que los habitantes del sector son de escasos recursos económicos y deben migrar a otras ciudades para obtener sus recursos económicos, lo cual no les permite residir en el lugar y esta es la causa del bajo consumo energético.

- La cantidad de residuos sólidos que ingresan en el relleno sanitario del cantón Salcedo para el año 2016 son 6574545 kg producido por una población de 64602 habitantes en el Cantón, lo cual nos permite generar 656944 m<sup>3</sup> de biogás en el año. Al procesar el biogás antes descrito se puede transformarlo en 67.27 kwh de energía, el cual año tras año irá en crecimiento.

## 12. RECOMENDACIONES

- Por los análisis y las conclusiones anteriormente señaladas, se recomienda que se realice un estudio definitivo para la ejecución del presente proyecto, en donde se determine la infraestructura eléctrica necesaria para la instalación de una planta de generación de energía eléctrica para poder aprovechar el biogás que en el relleno sanitario de San Pedro de Jachaguangoperteneciente al cantón Salcedo se genera.
- Se recomienda que se realice un estudio donde se determine los costos y factibilidad económica para la construcción y ejecución de un sistema de generación de energía eléctrica con la utilización del biogás.
- En el relleno sanitario de San Pedro de Jachaguango perteneciente al cantón Salcedo existe un generador eólico, el cual puede ser acoplado y convertir al sistema en híbrido, es decir generadores con biogás y energía eólica para así aprovechar el sistema de generación ya instalado.
- Se debe tener en cuenta que el contenido de metano en el biogás, decae al pasar el tiempo, el cual puede ir de 40-60% en los primeros años a 25-45% en los años posteriores. Los sistemas de recolección pueden brindarnos una vida útil de más de 15 años pero su óptimo funcionamiento se conseguirá de los 3 a 8 años.

## 13. BIBLIOGRAFÍA

- Atlas Multimedia del Ecuador, instituto Geográfico Militar, Ecuador, 2004

- CORENA, (2008), Sistemas de tratamiento para lixiviados generados en Rellenos Sanitarios. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia
- COSTA, Biomasa y biocombustibles, Madrid, España: Amvediciones, 2013 (1 Edición).
- GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTON SALCEDO, Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial, Salcedo – Ecuador
- <http://es.biomass-china.com/biomass-power-generation-units/23186112.html> [Revisado el 01-03-2016]
- INGENIERO WAGNER COLMENARES MAYANGA, INGENIERO CARIN SANTOS BONILLA, Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. Obtenido de [http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno\\_sanitario](http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario)
- JIMENEZ, (2008), Análisis e interpretación personal, Salcedo – Ecuador
- Río, U. d. (08 de 09 de 2007). monografias.com. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos48/biomasa/biomasa2.shtml> [Revisado el 07-04-2016]
- RODRÍGUEZ, (2004), Generación eléctrica por medio de biogás, Tesis para optar por el título de Ingeniero Eléctrico, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica.

# ANEXOS



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

Carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia

## DATOS DEL ALUMNO:

Nombre y Apellidos: Diego Enrique VillacisToapanta

---

Cédula: 050316879-1

---

Correo electrónico: diego\_evp@hotmail.com

---

Modalidad de Titulación seleccionada

- ✓ Examen Complexivo
- ✓ Proyecto de Investigación X

## DATOS DEL DIRECTOR:

Nombre y Apellidos: Vicente Javier Quispe Toapanta

---

Cédula: 0502918014

---

Correo electrónico: viche\_chente09@yahoo.com

---

## Firmas de Responsabilidad

Firma del alumno

Firma del Director

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS  
Carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia

## DATOS DEL ALUMNO:

Nombre y Apellidos: Diego Enrique Villacis Toapanta

---

Cédula: 050316879-1

---

Correo electrónico: diego\_evp@hotmail.com

---

Título del Proyecto de Investigación:

**DETERMINAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO PARA LA GENERACIÓN DE  
ELECTRICIDAD CON EL BIOGÁS EMITIDO EN EL RELLENO SANITARIO  
DEL CANTÓN SALCEDO**

## DATOS DEL TUTOR:

Nombre y Apellidos: Dr. Secundino Marreno

---

## Firmas de Responsabilidad

Firma del Alumno

Firma del Profesor-Tutor