



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**MECÁNICA ELÉCTRICA**

**“DISEÑO DE UNA PLANTA A BIOGÁS PARA GENERACIÓN  
DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN NAMORA – CAJAMARCA  
2017”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECÁNICO ELECTRICISTA**

**AUTOR:**

**WILSON ALCÁNTARA LIMAY**

**ASESOR:**

**LUIS CHAPOÑAN RIMACHI LÍNEA DE**

**INVESTIGACIÓN:**

**GENERACIÓN DE ENERGÍA**

**CHICLAYO-PERÚ**

**2017**

## Acta de Sustentación.

Siendo las 2:00 pm del día 17 de Setiembre del 2017  
Se reunieron en el aula 125 Campus ucv Chidayo los  
integrantes del Jurado:

Presidente Ing. Staler Díaz César Dany

Secretario Ing. Chapoñán Rimachi Luis Fernando

Vocal Ing. Reyes Tassara Pedro Demetrio

Para evaluar la Tesis:

"Diseño de una Planta a Biogás para Generación de  
Energía Eléctrica en Namora - Cajamarca 2017"

presentado por el (los) Bachiller(es): Alcántara Limay,  
Wilson

, para optar el Título  
profesional de Ingeniero Mecánico Electricista

El Presidente del Jurado da inicio solicitando al secretario a  
dar lectura de la Resolución Directoral:

N° 2639 - 2017 - II - UCV - CH - 2000

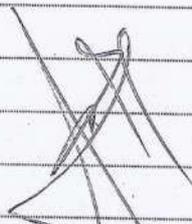
Seguidamente se explicó las instrucciones al (los) expositor (es)  
quien (es) tuvieron el permiso correspondiente para iniciar la  
sustentación, terminada la misma, el jurado procedió a realizar  
las preguntas. Acto seguido se pasó a efectuar la deliberación,  
llegando a la siguiente determinación:

APROBADO POR MAYORIA

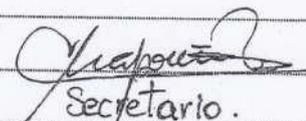
Se pasó a comunicar el resultado de la evaluación, siendo las  
2:50 pm, procediendo finalmente a firmar el Acta.



Presidente  
Ing. Staler Díaz César Dany



Vocal  
Ing. Reyes Tassara Pedro Demetrio



Secretario.  
Ing. Chapoñán Rimachi Luis

Grafiresa.

## DEDICATORIA

El presente estudio lo dedico a toda mi familia especialmente a mis padres Santos Alcantara Minchan y Olga Limay Aquino, quienes me apoyaron día a día en todo momento siendo participes de mis logros y fracasos, dándome ánimos para poder alcanzar mis metas.

Wilson Alcantara Limay

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mis padres por apoyarme siempre y en todo momento por inculcarme buenos valores, gracias por sus consejos y sus regaños. Nunca terminare de agradecerles por todo lo que han hecho por mí y decirles lo mucho que los quiero.

A todos los profesores que me brindaron sus conocimientos en las aulas a nuestro asesor Ing. Luis Chapoñán Rimachi por su asesoría permanente en esta investigación.

También agradezco a mi Alma Mater, la Universidad César Vallejo, a la escuela de Ingeniería Mecánica y eléctrica, al brindarme la oportunidad de seguir mis estudios.

Wilson Alcantara Limay

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Wilson Alcantara Jimay egresado (a) de la Escuela profesional de Ingeniería de la Universidad César Vallejo S.A.C. Chiclayo, identificado con DNI N° 47524521

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

1. Soy autor (a) de la tesis titulada: "DISEÑO DE UNA PLANTA A BIOGÁS PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN NAMORA - CAJAMARCA 2017" la misma que presento para optar el título de: INGENIERO MECÁNICA ELÉCTRICO"
2. La tesis presentada es auténtica, siguiendo un adecuado proceso de investigación, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y frente a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar a LA UNIVERSIDAD o a terceros, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar causa en la tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Así mismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNIVERSIDAD en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la tesis.

De identificarse algún tipo de falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad César Vallejo S.A.C. Chiclayo; por lo que, LA UNIVERSIDAD podrá suspender el grado y denunciar tal hecho ante las autoridades competentes, ello conforme a la Ley 27444 del Procedimiento Administrativo General.

Chiclayo 21 de diciembre del 2018

Lugar y fecha

Firma

Nombres y apellidos

Wilson Alcantara Jimay

## PRESENTACIÓN

En el presente trabajo de investigación titulado: DISEÑO DE UNA PLANTA A BIOGÁS PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN NAMORA – CAJAMARCA 2017, se demuestra que si es factible generar electricidad a través de una central térmica a partir de Biogás en Cajamarca.

En el Capítulo I, se presenta la realidad problemática existente en la ciudad de Cajamarca en cuanto al uso de los Residuos Sólidos generados, a continuación se hace una síntesis de los principales trabajos previos y se nombra las Teorías relacionada a generar electricidad a través de una Central Térmica a partir de biogás. A continuación se nombra el Problema, para luego justificar el trabajo de investigación realizado y presentar la Hipótesis, con los Objetivos de la Investigación.

En el Capítulo II, se presenta el Diseño de la Investigación, describiendo las Variables y su operacionalización, así como la Población y Muestra, además de las Técnicas e Instrumentos de recolección de datos utilizados en la investigación así como los Métodos de Análisis de Datos.

En el Capítulo III, se presenta los Resultados obtenidos de acuerdo con los objetivos generales y específicos definidos.

En el Capítulo IV, se realiza la controversia de los Resultados logrados. En el Capítulo V y VI, se presenta las Conclusiones y Recomendaciones, respectivamente.

## ÍNDICE

ACTA DE SUSTENTACIÓN .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
DECLARATORIA DE AUNTENTICIDAD .....	v
PRESENTACIÓN .....	vi
ÍNDICE .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	15
a. INTERNACIONAL .....	15
b. NACIONAL .....	18
c.LOCAL .....	20
1.2. TRABAJOS PREVIOS .....	22
1.3. TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA .....	28
1.3.1. ¿Qué es la biomasa? .....	28
1.3.2. ¿Que son los residuos sólidos urbanos? .....	29
1.3.3. ¿Qué es un relleno sanitario? .....	30
1.3.4. ¿Qué es el biogás?.....	32
1.3.6. Tecnologías de utilización de biogás de relleno sanitario .....	41
1.3.7. Sistema de extracción de biogás .....	42
1.3.8. Planta de tratamiento y limpieza del biogás .....	47
1.3.9. Grupo electrógeno de generación de energía eléctrica.....	51
1.3.10. Costos estimados de inversión .....	55
1.3.11. Determinar el Costo del kW-h generado .....	57
1.3.11. ¿Qué son los bonos de carbono? .....	57
1.4. FORMULACIÓN .....	DEL

PROBLEMA .....	59
1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....	59
1.6. HIPÓTESIS .....	60
1.7. OBJETIVOS .....	60
1.7.1 OBJETIVO GENERAL.....	60
1.7.2                    OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	61
II. MÉTODO.....	61
2.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	61
2.2 VARIABLES, OPERACIONALIZACIÓN .....	61
2.2.1. VARIABLE DEPENDIENT .....	61
2.2.2 VARIABLE INDEPENDIENTE .....	61
2.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	63
2.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD.....	63
2.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS .....	64
2.6 ASPECTOS ÉTICOS .....	64
III. <b>RESULTADOS</b> .....	65
3.1. Determinar el metano contenido en el biogás y su extracción.....	65
3.2. Determinar el potencial energético del metano y la generación de energía eléctrica a partir del potencial energético del metano.....	67
3.3. Costos de inversión .....	68
3.4. Determinar el Costo del kW-h generado y cálculo de TIR Y VAN .....	69
IV. DISCUSIÓN .....	74
V. CONCLUSIÓN .....	76
VI. RECOMENDACIONES .....	77
VII. VII.	
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXOS.....	82
ANEXO 1 Determinar Mi: cantidad de residuos sólidos depositados desde el 2009 – 2017.....viii.....	82

ANEXO 2 TIR Y VAN.....	84
ANEXO 3 Costos estimado de la planta de biogás .....	87
ANEXO 4 Ubicación del relleno sanitario ubicado en Namora –Cajamarca mediante vista satelital .....	88
ANEXO 5 Catálogo de plantas de enriquecimiento de biogás, para motores de combustión interna .....	89
ANEXO 6 Antorchas para quemar biogás el excedente de biogás.....	92
ANEXO 7 Grupo electrógeno marca CAMDA de 300kW .....	93
ANEXO 8 Croquis y planos de planta a biogás .....	96
ANEXO 9 Autorizacion de publicacion de tesis.....	101
ANEXO 10 Acta de originalidad de tesis .....	102
ANEXO 11 Adjunto copia de turnitin .....	103

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N. 1 Duración típica de las fases de generación de biogás en un relleno sanitario .....	37
7	
Tabla N. 2 eficiencias de extracción según el diseño a seguir .....	399
Tabla N. 3 Alternativas tecnológicas de aprovechamiento de biogás de relleno sanitario .....	41
Tabla N. 4 Rangos típicos de flujos, potencias y eficiencias de tecnologías de generación eléctrica .....	42
Tabla N. 5 Eficiencias promedio de extracción .....	42
Tabla N. 6 Costos estimados de inversión por kW instalado .....	56
Tabla N. 7 Costos estimados de operación y mantenimiento .....	57
Tabla N. 8 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES .....	62
Tabla N. 9 Eficiencias promedio de extracción .....	66
Tabla N. 10 coste por kW instalado según la tecnología .....	68
Tabla N. 11 cálculo de producción de basura desde la puesta en funcionamiento del relleno sanitario de Cajamarca desde el 2009 hasta el 2017 .....	82
Tabla N. 12 Costo estimado de la planta de biogás.....	87
Tabla N. 13 Costo de operación y mantenimiento .....	87
Tabla N. 14 Datos del grupo electrógeno para generar electricidad a partir del metano contenido en el biogás del relleno sanitario de Cajamarca.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Emisiones Antropogénicas Mundiales de metano estimadas por fuente, 2010 .....	16
Figura 2 Proyección estimada de emisiones de metano para el año 2020 .....	16
Figura 3 Ubicación por coordenadas UTM del RS de Cajamarca.....	21
Figura 4 Relleno tipo zanja .....	31
Figura 5 Relleno sanitario tipo área .....	32
Figura 6 Composición del biogás en el RS Huaycoloro - Lima .....	32
Figura 7 Propiedades del biogás. ....	33
Figura 8 Los factores que influyen en la producción de biogás .....	34
Figura 9 Fases de generación de biogás en un relleno sanitario .....	37
Figura 10 Índices de generación de metano $k$ y $L_0$ .....	39
Figura 11 Pozos de extracción de biogás .....	44
Figura 12 Ejemplo un pozo de extracción de biogás.....	45
Figura 13 Cabezal de pozo de extracción.....	45
Figura 14 Tuberías colectoras de biogás.....	47
Figura 15 Separador de humedad centrífugo .....	48
Figura 16 Compresor.....	48
Figura 17 Sistema de remoción de siloxanos, ácido sulfúrico y COV'S .....	49
Figura 18 Planta de tratamiento de biogás Central Loma Los Colorados II - Chile .....	50
Figura 19 Usos del biogás según su tratamiento .....	50
Figura 20 Transformación de energía química a mecánica .....	51
Figura 21 motor de combustión interna marca CAT G3612.....	52
Figura 22 Partes de un generador de energía eléctrica .....	52
Figura 23 Sistema de refrigeración de motor.....	53
Figura 24 Soportes antivibratorios para el grupo electrógeno.....	54
Figura 25 Sistema de control para el grupo electrógeno.....	54
Figura 26 Componentes de un grupo electrógeno .....	55
Figura 27 ubicación del relleno sanitario de Cajamarca mediante vista satelital .....	88
Figura 28 vista satelital del relleno sanitario ubicado en Namora - Cajamarca....	88

Figura 29 catálogo de planta de enriquecimiento de biogás, para motores de combustión interna .....	89
Figura 30 proceso de enriquecimiento de biogás.....	90
Figura 31 sistema de limpieza y acondicionamiento de biogás.....	91
Figura 32 antorcha para quemar el excedente de biogás.....	82
Figura 33 grupo electrógeno CAMDA 300 kW .....	94
Figura 34 grupo electrógeno CAMDA en operación .....	95
Figura 35 grupo electrógeno CAMDA en operación .....	95

## **RESUMEN**

Un relleno sanitario es una instalación para la eliminación de residuos sólidos domiciliarios. Dentro de éste ocurren reacciones que tiene como producto el biogás, un gas de gran valor energético. Además de este producto, también se producen residuos líquidos denominados lixiviados.

En Perú se está empezando a buscar nuevas fuentes energéticas renovables por lo que al día de hoy hay incentivos que favorezcan el desarrollo de proyectos de biogás y la experiencia en instalaciones de aprovechamiento energético es escasa, por lo que la motivación de este trabajo es contribuir, mediante una guía básica de diseño, a la evaluación de alternativas de valorización energética de biogás; como una nueva oportunidad de negocio con valor social, privado y comercial.

Para el desarrollo de este trabajo se emplea la siguiente metodología:

- Recopilación de datos del relleno sanitario.
- Estudio de modelos de estimación de la producción de biogás.
- Revisión de la estructura del relleno sanitario.
- Selección de tecnologías de aprovechamiento energético técnicamente factibles.
- Definición de casos particulares de estudio.
- Desarrollo de un modelo para el diseño de la planta.

La propuesta de implementación de una planta de generación eléctrica con biogás en Cajamarca, es viable y sostenible, principalmente más que por el aspecto técnico, por razones económicas, de medio ambiente y mejorar la matriz energética del país.

La puesta en práctica de este proyecto brindará a nuestras futuras generaciones el acceso a la utilización de nuevas tecnologías en generación eléctrica el desarrollo de nuevas plantas para la industria y la región de Cajamarca.

### **PALABRAS CLAVE:**

Desechos Orgánicos, Generación Eléctrica, Biogás.

## **ABSTRACT**

A landfill is a facility for the disposal of solid household waste. Within this, reactions occur that have as biogas product, a gas of great energetic value. In addition to this product, liquid wastes called leachates are also produced.

In Peru is starting to look for new renewable energy sources so that to date there are incentives that favor the development of biogas projects and experience in facilities for energy use is scarce, so the motivation of this work is to contribute, Through a basic design guide, to the evaluation of biogas energy recovery alternatives; As a new business opportunity with social, private and commercial value.

For the development of this work the following methodology is used:

Collection of landfill data.

Study of estimation models of biogas production.

Review of the structure of the sanitary landfill.

Selection of technically feasible energy use technologies.

Definition of particular cases of study.

Development of a model for the design of the plant.

The proposal for the implementation of a gas-fired power plant in Cajamarca is viable and sustainable, mainly because of the technical aspect, for economic reasons, the environment and to improve the country's energy matrix.

The implementation of this project will provide our future generations with access to the use of new technologies in electricity generation the development of new plants for industry and the region of Cajamarca.

### **KEYWORDS:**

Organic Waste, Power Generation, Biogas.

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. REALIDAD PROBLEMATICA**

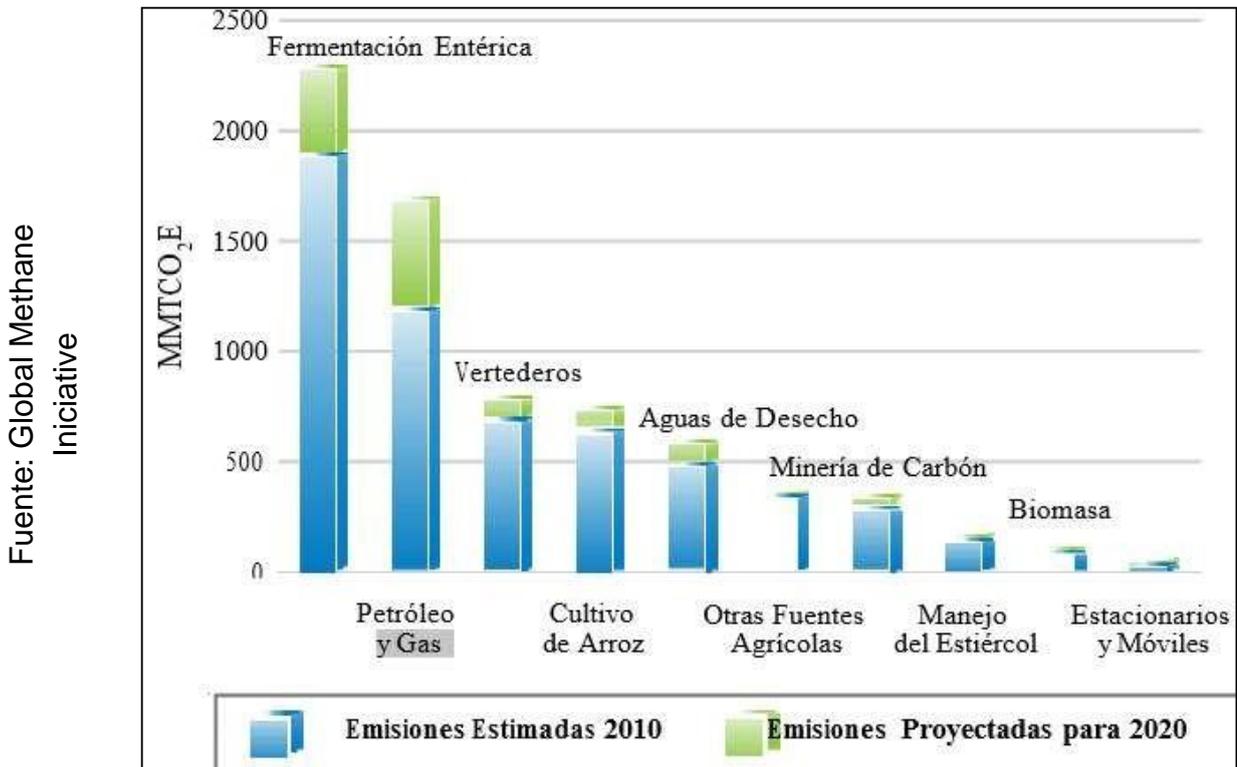
#### **a. INTERNACIONAL**

Según GLOBAL METHANE INICIATIVE, en los rellenos sanitarios se genera el biogás producto de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica por medio de bacterias, en su composición tenemos al metano  $\text{CH}_4$  y la dióxido de carbono  $\text{CO}_2$ , el metano ( $\text{CH}_4$ ) es un gas combustible además es un potente “gas de efecto invernadero” (o GEI) el cual lo convierte en un importante contribuyente al cambio climático, especialmente a corto plazo (10-15 años). El metano emitido a la atmosfera es generado por la ganadería, la agricultura, producto de la descomposición de materia orgánica presente en los vertederos de desechos sólidos municipales, tratamiento de aguas de residuales. El metano es el segundo GEI más abundante después del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) su potencial del metano para el calentamiento global (la capacidad del gas para atrapar el calor en la atmósfera) es 23 veces mayor que el  $\text{CO}_2$ .

Se estimó que las emisiones antropogénicas mundiales de metano en 2010 fueron 6 875 millones de toneladas métricas de  $\text{CO}_2$  (MMT $\text{CO}_2\text{E}$ ).

Aproximadamente el 50% de estas emisiones provienen de cinco fuentes identificadas: agricultura, minas de carbón, vertederos, sistemas de petróleo y gas natural y aguas de desecho.

Figura 1



Emissiones Antropogénicas Mundiales de metano estimadas por fuente, 2010.

La proyección estimada al año 2020 es de un crecimiento de un 15% es decir 7 904 millones de toneladas métricas de CO<sub>2</sub> emitido para el 2020.

Figura 2



Proyección estimada de emisiones de metano para el año 2020

según FRERS (2005). El aumento de la generación de residuos sólidos sean sólidos, líquidos y gaseosos es un problema mundial, ya que estos mismos contaminan los suelos, aire y agua resultando en un proceso difícil de revertir y además facilita la introducción de contaminantes tóxicos en la cadena alimentaria.

El manejo de los residuos sólidos es un ciclo que empieza con la generación, acumulación temporal, recolección, transporte disposición final en un RS o botadero a cielo abierto. En estos lugares donde se acumulan los residuos sólidos es donde surgen los problemas ecológicos por lo que estos se convierten en focos permanentes de contaminación. Es a partir de esta acumulación cuando comienzan los verdaderos problemas ecológicos, ya que los basureros se convierten en focos permanentes de contaminación.

Existen diversas formas de disposición final para los residuos sólidos, siendo una de estas los botaderos a cielo abierto, es decir son expuestos directamente al ambiente sin ningún tratamiento donde el riesgo de enfermedades es alto debido a que empiezan a generarse vectores de transmisión de enfermedades tales como moscas y ratones, además de generar olores putrefactos por la descomposición aeróbica de materia orgánica.

Estos botaderos a cielo abierto generan muchos problemas como la contaminación del suelo, agua, aire, problemas de erosión por la eliminación de las plantas y contaminación por microorganismos

Con el pasar del tiempo estos materiales depositados se descompondrán dando origen a nuevos componentes químicos generando mayor contaminación, haciendo que el suelo pierda muchas de sus propiedades iniciales. Lo que más contamina es la mezcla de residuos industriales mezclados con la basura común, estos residuos son considerados peligrosos por su alta toxicidad, ya que en su composición se encuentra los metales pesados tales como el cadmio, litio, plomo, aceites, ácidos corrosivos, restos médicos, aerosoles y restos de combustibles.

b. NACIONAL

Según MINAM, (2017, p. 70) un 28,3% de las emisiones antropogénicas de metano equivale a 7 248 000 toneladas de CO<sub>2</sub> emitidos a la atmósfera, estos provienen de vertederos, aguas residuales y excretas humanas, el 71,7% de las emisiones de metano de Perú es de 18 364 000 de toneladas de CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera esto proviene de la agricultura (fermentación entérica 42,13%; manejo de estiércol 1,16%; cultivo de arroz 5,59%; quema de pastos 1,21% y por la quema de residuos agrícolas 0,74%).

Por lo que en la mayoría de ciudades del Perú, los residuos sólidos se disponen de forma inadecuada, en botaderos a cielo abierto, siendo un gran problema medioambiental por la generación de metano. El metano (CH<sub>4</sub>) es un hidrocarburo y el principal componente del gas natural. El metano es además un potente “gas de efecto invernadero” el cual lo convierte en un importante contribuyente al cambio climático, especialmente a corto plazo (10-15 años).

Además el metano (CH<sub>4</sub>) es el segundo gas de efecto invernadero más abundante después del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano tiene más potencial para el calentamiento global (por ejemplo, la capacidad del gas para atrapar el calor en la atmósfera) es 23 veces mayor. Por consiguiente, las emisiones de metano actualmente contribuyen en más de un tercio del calentamiento antropogénico actual, esto es un problema ya que nuestro país es muy vulnerable al cambio climático.

Los residuos sólidos son desechos orgánicos e inorgánicos que se generan tras el proceso de fabricación, transformación o utilización de bienes y servicios. Si estos residuos no se manejan adecuadamente, producen contaminación ambiental y riesgos para la salud de las personas. De acuerdo al informe del estado actual de la gestión de los residuos sólidos municipales en el Perú (año 2010-2011), se generan por día 20.000 toneladas de ellos. Los habitantes de la costa son los que producen la mayor cantidad de basura en el Perú. Solo en Lima, donde se ubica la capital, en la que viven más de ocho millones de personas, se generan un promedio de 2 123 016 toneladas de residuos al año. Cada persona en

promedio genera 0.61 kilos al día, lo cual supone un incremento significativo de los residuos sólidos. Por su composición, estos residuos son, en mayor cantidad restos orgánicos, de cocina y alimentos (47%), plástico (9.48%) y residuos peligrosos (6.37%), es decir, aquellos residuos que representan riesgos para la salud de las personas, como relaves mineros y residuos industriales u hospitalarios. Continúan en la lista, pero en menor proporción: papel, residuos de construcción, vidrio, cartón, fierro, madera y residuos electrónicos, entre otros (MINAM, 2013 p. 1-2).

Uno de los más grandes problemas ambientales en el país es la disposición de los residuos sólidos; Perú cuenta con 8 rellenos sanitarios para residuos sólidos domésticos y 1 relleno sanitario para residuos peligrosos. Sin embargo, cada día son generados grandes cantidades de residuos en 1 mil 838 distritos a nivel nacional. En ese sentido en el año 2013, se ha podido avizorar el uso preferente por los botaderos a cielo abierto por parte de las municipalidades distritales, el cual representó el 70,7% (1 mil 230 municipalidades). Los rellenos sanitarios constituyeron el 32,3% (561 municipalidades), la quema de basura implicó el 20,2% (351 municipalidades), el reciclaje y vertidos en el río, laguna o mar alcanzó el 23,7% y 4,1% respectivamente. Los destinos finales aumentaron respecto al año 2012, destacando el reciclaje al pasar de 363 a 413 municipalidades contribuyendo en la reducción y reutilización de los residuos. Igualmente, según las declaraciones al registro de municipalidades la disposición en rellenos sanitarios se incrementó en 7,9% al pasar de 520 a 561 municipalidades (INEI, 2013 p. 312-313).

La ciudad de Lima produce aproximadamente 6 mil toneladas de basura diariamente, lo que equivale a 4,2 toneladas por minuto, 2,2 millones de toneladas al año, o cerca de 800 gramos de producción de basura por persona al día. El 86% de la basura es dispuesta de modo controlado, en tanto que la diferencia no se controla y no se conoce su destino final.

La basura es generada en nuestros hogares, en los establecimientos comerciales y negocios, instituciones públicas, así como en la vía pública por los transeúntes. Esta contiene principalmente desperdicios orgánicos y también, papel, cartón, metal, vidrio, plástico, telas, cuero, caucho, entre

otros. Su tratamiento inadecuado tiene efectos directos e indirectos sobre el estado de la salud de la población, el ornato de la ciudad y el medio ambiente en general.

Los efectos de algunos componentes de la basura pueden ser muy nocivos para el medio ambiente.

Por ejemplo, las pilas demoran en descomponerse a la intemperie más de mil años, las botellas de vidrio blanco más de 4 mil años, una zapatilla 200 años, las bolsas de plástico 150 años, y las botellas de plástico un promedio de entre 100 y 1000 años lo cual es un contaminante a largo plazo.

La generación de basura está directamente relacionada con los niveles de ingreso de la población en Lima. En esta línea, los distritos de San Isidro, Miraflores, Barranco, Santiago de Surco, La Molina y Jesús María, son los que generan más basura por persona al día. El rango oscila entre 1,6 kg en San Isidro y 900 gramos en Jesús María. Por parte, los distritos de San Juan de Lurigancho, San Juan de Miraflores, Villa María del Triunfo y Villa El Salvador son los que producen menos basura por persona, oscilando la producción diaria entre 650 y 450 gramos. (INSTITUTO CUANTO, 2017 p. 01)

#### c. LOCAL

En la provincia de Cajamarca se produce alrededor de 140 toneladas de basura diariamente. Estos residuos sólidos son recolectados para luego, ser depositados en el relleno sanitario ubicado en el sector Cochambul, carretera Namora, donde son compactados. Estos lugares sufren procesos físicos y químicos que producen aguas lixiviadas, un compuesto que contiene mercurio, cadmio, litio y plomo, sustancias muy dañinas para la salud y el medio ambiente.

El citado relleno sanitario funciona desde junio de 2009 y tiene una extensión de 50 hectáreas, pero en los últimos años, la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (DESA) ha venido vigilando a su manejo, y ha determinado que el riesgo sanitario que representa ha oscilado siempre entre alto y muy alto.

El área del relleno sanitario de Cajamarca se encuentra en el distrito de Jesús, provincia y departamento de Cajamarca a una altura de 2800 m.s.n.m. las coordenadas UTM, de los vértices del polígono del área del relleno son las siguientes:

Figura 3

<http://www.digesa.minsa.gob.pe/Expedientes/DepositoOTF/2355->

Vértices	Coordenadas UTM	
	ESTE	NORTE
A'	788708.0100	9201969.9100
B'	788773.0500	9201674.3300
C'	788684.1100	9201610.0400
D'	788646.9900	9201621.9300
E'	788507.4800	9201793.9600
F'	788297.0800	9201914.9200
G'	788320.9600	9202011.5000
H'	788504.2100	9201982.3300

Área: 9.95 Ha  
Perímetro: 1 404.77 m

Ubicación por coordenadas UTM del RS de Cajamarca

Antenor Florindez, gerente de Medio Ambiente de la municipalidad provincial de Cajamarca explica que el 60% de los residuos recolectados son orgánicos, por lo que debería ser segregado en la fuente misma. En tal sentido, reconoce que se debe emprender campañas de educación ambiental que involucren la organización, segregación y motivación a la población.

En julio de 2013, la DESA multó con 185 mil soles al municipio por incumplir la Ley 27314, que regula el tratamiento de los residuos sólidos. Las razones fueron, entre otras, la filtración de lixiviados, fuertes olores, proliferación de moscas y ausencia de personal responsable.

## 1.2. TRABAJOS PREVIOS

CRISANTO, Anibal (2013, p.54) en su tesis titulada "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTAR UNA CENTRAL ELÉCTRICA APROVECHANDO EL BIOGÁS GENERADO POR EL RELLENO SANITARIO EL INGA" nos dice:

El aprovechamiento de los recursos energéticos como el biogás, producto de la descomposición anaeróbica, con un adecuado tratamiento para eliminar las impurezas y su posterior uso para la generación de energía eléctrica mediante motogeneradores en el relleno sanitario EL INGA ubicado en Quito - Ecuador, donde se disponen los residuos sólidos en el distrito metropolitano de Quito, lugar donde se realiza el estudio.

La cantidad producida se calcula a partir del modelo de degradación de primer orden sugerido por la EPA y adaptado para el Ecuador. Para su uso es necesario conocer la cantidad promedio de recepción de residuos sólidos en un año, años de funcionamiento del relleno que lleva abierto, el potencial de generación de metano y la cantidad de generación anual de metano de los residuos. Una vez llenados que se tenga estos datos se procede a realizar el cálculo estimado de producción de biogás durante el tiempo de vida útil del relleno sanitario. Una vez estimada la cantidad de biogás, se realiza un cálculo estimado con una concentración de metano de se calcula la cantidad de kW/h que se obtendría. Con estos datos teóricos se escoge el generador más adecuado en función de los parámetros técnicos y equipos disponibles en el mercado.

El potencial energético del biogás con un volumen de 56% de metano su poder calorífico es de 5,6 kW/m<sup>3</sup>.

Escenario pesimista los resultados con aproximación simple es de 31,5 m<sup>3</sup>/min, 1890 m<sup>3</sup>/h.

Escenario optimista es de 126,5 m<sup>3</sup>/min, 7590 m<sup>3</sup>/h.

Con los valores obtenidos se calcula la potencia eléctrica neta por hora con la ecuación:

Escenario pesimista.

$$P. elec_{neta} = Vol. biogás * P. energetico * eficiencia de generación$$

$$P. elec_{neta} = 1890 m^3/h * 5,6 kW * 0.38$$

$$P. elec_{neta} = 10584 kW - h$$

Escenario optimista.

$$P. elec_{neta} = Vol. biogás * P. energetico * eficiencia de generación$$

$$P. elec_{neta} = 7590 m^3/h * 5,6 kW * 0.38$$

$$P. elec_{neta} = 16151 kW - h$$

PULIDO,erick, (2004, p.09 ) en su tesis titulada "ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS DE CAPTURA Y USO DEL BIOGÁS DE RELLENOS SANITARIOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA" del estado de Nuevo León- Mexico,nos dice:

El desarrollo de la economía mexicana durante la década de los 90's dio lugar a un crecimiento excedente promedio anual del 5.2 % en la demanda eléctrica durante el mismo período de tiempo. La capacidad instalada total en México en 1999 era de 35,000 MW y se espera que la demanda futura crezca un 5.8 % por año hasta el 2010. Este crecimiento requerirá 27,000 MW de capacidad de generación adicional a un costo aproximado de cuatro mil millones dólares por año.

El aumento previsto en los requerimientos de energía y el compromiso del gobierno y la CFE (Comisión Federal de Electricidad) para ampliar el componente de energía limpia en la mezcla nacional proporcionan una base para el planeamiento y la implementación de capacidad de generación independiente.

El uso de biogás es posible para la generación de energía independiente porque las regulaciones actuales permiten el uso de subproductos de los procesos de producción existentes para la generación de energía eléctrica. El biogás no se ha regulado como combustible alternativo, sino que se excluye de la definición de gas natural y por lo tanto no cae bajo la jurisdicción de PEMEX (Petróleos Mexicanos), esto permite que el sector privado lo explote.

El metano, principal componente del biogás es un gas causante del efecto invernadero y las emisiones del mismo en los rellenos sanitarios contribuyen con cerca del 10 % del total de las emisiones de metano en México. La reducción de las emisiones de metano es una parte crítica de la estrategia mexicana para controlar las emisiones de los gases de efecto invernadero.

El proyecto planteado tiene por objeto la generación de energía eléctrica utilizando el biogás producto de la digestión anaeróbica en el relleno sanitario del sistema metropolitano de procesamiento de desechos sólidos, en este relleno sanitario se deposita hasta 830 000 toneladas anuales, y el total depositado desde 1991 hasta 1999 es de 7 698 057 toneladas de residuos sólidos, la generación de energía eléctrica se da bajo la modalidad de cogeneración, utilizando una central eléctrica que estará constituida por 7 motogeneradores de combustión interna con capacidad de 1,06 MW cada uno. La capacidad total de la central será de 7,42 MW, con una producción estimada anual de energía eléctrica de 58,254 GW-h anual y un consumo estimado anual de 36,229 millones de Nm<sup>3</sup> de biogás.

ASÍS, G.“et al”, (2012,p.06). En su investigación titulada “PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE BIOGÁS OBTENIDO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS” nos dice:

Entre las diferentes formas de generación de energía en este proyecto se investiga la manera de obtener energía a partir del biogás producto de la fermentación de los residuos urbanos. En cuanto al notable crecimiento demográfico de muchas ciudades, el incremento de los residuos sólidos urbanos se ha convertido en una de los principales problemas ambientales en la actualidad. En la ciudad de San Francisco, provincia de Córdoba, el uso de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables es inexistente. La metodología de selección de residuos sólidos aun es desconocida por el municipio, para su posterior disposición y aprovechamiento, por lo cual no hay un manejo adecuado de los residuos sólidos, generando un problema sanitario y medio ambiental por la emisión de gases de efecto invernadero, el cual no es aprovechado, para lo cual se estudió la

posibilidad de generar energía eléctrica usando el biogás procedente del relleno sanitario, además realizando el estudio de factibilidad para el desarrollo de esta planta de generación de energía

Motor de combustión interna: El biogás con un grado medio de pureza, se puede utilizar en motores de combustión interna. Los motores de combustión interna tienen como desventaja las elevadas concentraciones de NOx y CO que emiten a la atmósfera. Debido a su bajo costo, alto rendimiento y considerando la potencia disponible, esta es la tecnología que usaremos para nuestro proyecto. El motor que estará acoplado al generador, al momento de arrancar se usará una mezcla de gas oíl por sus propiedades detonantes y luego una vez en régimen comenzaría a alimentarse con biogás.

Según nuestro estudio hemos obteniendo los siguientes resultados:

- El potencial energético es de 1 125 000 kcal/h.
- En kW la potencia es de 1 308,37 kW-h, para convertir esta energía química en eléctrica se convierte mediante la eficiencia del motor que es de 35%.

Teniendo un resultado de 457,8 kW-h.

- Para esto se contará con un motor de 500 kW-h.

Se puede generar una potencia eléctrica de 457,5 kW, disponible para su utilización. Esta generación de energía eléctrica no llega a cubrir la demanda actual de la ciudad pero puede incrementar la oferta actual. Siendo una nueva alternativa de obtención de energía eléctrica, limpia y renovable, contribuyendo con el medio ambiente.

VALLADARES, Erwin y VILLEGAS Manuel, (2013, p. 01) En su tesis titula "POTENCIAL ENERGÉTICO DEL BIOGÁS GENERADO POR LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS (RSD) EN LA PROVINCIA DE CONCEPCIÓN" nos dicen:

Hace poco tiempo las fuentes energéticas renovables (solar, geotérmica, eólica, biomasa, mareomotriz, etc.) son consideradas de gran importancia para el desarrollo de nuevas tecnologías limpias y no contaminantes, ya

que estos recursos pueden aprovecharse para generar energía eléctrica, ayudando a complementar la actual matriz energética que está compuesta principalmente por combustibles fósiles, que cada día son más escasos, además de ser costosos y altamente contaminantes para el medio ambiente por la emisión de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, generando la lluvia ácida.

Al año 2009, en Chile se generaba aproximadamente 1,0 kg de basura al día por habitante, este valor va creciendo. Por lo cual se planteó la generación de energía eléctrica, usando como combustible el biogás procedente de los rellenos sanitarios, esta generación de energía se puede vender al sistema eléctrico nacional, este biogás contiene metano el cual es un combustible gaseoso, el cual puede reemplazar a los combustibles tradicionales generando energía eléctrica. El biogás es un combustible biológico originado por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, y está compuesto principalmente por Metano ( $\text{CH}_4$ ), Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) y otros gases. El Metano participa en más del 70% de la composición del biogás, teniendo un poder calorífico aproximado de 5.000 ( $\text{kcal/m}^3$ ), lo cual plantea la posibilidad de considerarlo como una alternativa energética específica. Como referencia el Gas Natural Líquido (GNL) tiene 10.500 ( $\text{kcal/m}^3$ ) y el Gas Líquido de Petróleo (GLP) genera 24.000 ( $\text{kcal/m}^3$ ). Se puede captar  $\text{CH}_4$  mediante una planta generación de biogás, en donde se succiona los gases producto de la descomposición anaeróbica de los RS. En estos RS existe un importante porcentaje de materia orgánica que al descomponerse mediante un proceso de fermentación anaerobia (sin presencia de oxígeno) produce biogás, provocando muchos problemas al ser liberado sin ningún tratamiento previo provoca severos problemas en la atmósfera. Según estudios, del total de gases que provocan el efecto invernadero, el 20% corresponde a  $\text{CH}_4$ , siendo los vertederos de basura una de las principales fuentes emisoras antropogénicas con casi un 13%. Cabe resaltar que, algunos estudios indican que alrededor del 40% de las emisiones globales de metano se deben a la acción del hombre, tales como cultivos de arroz, quema de combustibles fósiles, descomposición de estiércoles agropecuarios y vertederos de basura. El resto de las

emisiones se originan en fuentes húmedas (pantanos). Aprovechar el biogás generado por los RSD puede contribuir a mitigar un problema ambiental, junto con obtener un tipo de energía alternativa desde los vertederos y rellenos sanitarios, y que podría constituir una nueva propuesta de negocio. Las plantas de biogás pueden ser una solución efectiva a los problemas que se presentan en los depósitos de basura domiciliaria, lo que permitiría el desarrollo de una interesante sinergia entre la población, el medioambiente y energía. Se plantea la posibilidad de usar la energía contenida en los rellenos sanitarios, mediante la explotación tecnificada del biogás con el fin de disponer de un recurso energético adicional para la producción de electricidad.

Es este estudio estudiaremos al Vertedero CARRIEL NORTE:

Ubicación Fundo Carriel Norte, Talcahuano.

Superficie 10 hectáreas.

Recepción de residuos al año es de 87576 toneladas.

Al año 2013 su generación de biogás es de 2417845,5 m<sup>3</sup>; generando un flujo volumétrico de 276,0 m<sup>3</sup>/h y generando una potencia eléctrica neta de 1380 kW/h.

SANCHEZ, Medalith (2016,p. xxii) en su tesis titulada “DISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO ORGÁNICO PARA OBTENER PRODUCTOS DERIVADOS DE LOS RESIDUOS GENERADOS POR EL CAMAL MUNICIPAL DE CAJAMARCA, 2016”, nos dice:

El presente trabajo de investigación, se llevó a cabo en el Camal Municipal de Cajamarca, perteneciente a la provincia y distrito de Cajamarca. En donde uno de los objetivos específicos es realizar el diagnóstico situacional del mencionado Camal, para ello se realizó un paciente trabajo de observación y entrevistas a los responsables involucrados en el proceso, los cuales permitieron la elaboración o construcción de los flujogramas del proceso de faenamiento de acuerdo al tipo de animal, mapas de recorrido de los desechos generados, poniendo particular interés en la entrada de materia prima e insumos utilizados y la salida de residuos sólidos, efluentes y emisiones al ambiente, con la finalidad de ver si se cuenta con el potencial energético para el diseño de un sistema de aprovechamiento

orgánico que permita obtener productos derivados de estos residuos. Al término de esta investigación se llegó a encontrar que se generan cerca de 1,620 kg/día. De desechos orgánicos los cuales podrían ser utilizados en un Biodigestor tipo Laguna de un volumen de 250 m<sup>3</sup>, e l cual a un periodo de retención hidráulica de 45 días podría generar 40,1 m<sup>3</sup> de biogás al día el cual podría satisfacer las necesidades térmicas y/o eléctrica si se desea del Camal Municipal, eso contando adicionalmente con que se produciría más de 250 kg de abono orgánico el cual puede ser utilizado en el mejoramiento de parques y jardines de la Municipalidad. Este proyecto altamente factible cumple con el objetivo principal de esta investigación que es el producir Biogás y sub productos los cuales intensificarán la productividad del camal municipal sin perjudicar el medio ambiente, como se viene haciendo actualmente perjudicando no solo la salud de sus empleados si no la de sus vecinos, además su ejecución implica cambios técnicos y operativos que no solamente contribuirán a la reducción de gastos mensuales los cuales ascienden a S/ 8 000 soles aprox. en los que se incurren por no hacer un uso eficiente y productivo de sus residuos orgánicos.

### **1.3. TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA**

#### **1.3.1. ¿Qué es la biomasa?**

La biomasa es un conjunto de materias orgánicas que se caracteriza por su heterogeneidad, tanto por su origen como por su naturaleza.

En el aspecto energético, la biomasa puede considerarse como la materia orgánica producto de un proceso biológico, utilizable como fuente de energía. Estos recursos biomásicos pueden agruparse de forma general en agrícolas y forestales. También se considera biomasa la materia orgánica de las aguas residuales, así como la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y otros residuos derivados de las industrias.

La biomasa energética puede transformarse en calor y electricidad mediante:

Combustión mediante la quema de madera, residuos agrícolas y forestales.

Digestión anaerobia presente en las aguas negras, en la fermentación de materia orgánica, en rellenos sanitarios.

(FOCER, 2002, p.04)

La biomasa se clasifica en:

Biomasa sólida: siendo la más conocida es la que se obtiene de procesos forestales, podas, y de los residuos de las industrias que trabajan con cualquier tipo de biomasa natural (carpinterías, papeleras etc.).

Biomasa líquida: son los componentes que usan para obtener carburantes y biocombustibles (maíz, caña de azúcar, remolacha y aceites de colza). Los más conocidos son el biodiesel y el etanol.

Biomasa Gaseosa: es producto de la digestión anaeróbica, puede producir calor para necesidades comerciales o accionar turbinas para la producción de electricidad. (FOCER, 2002, p.06)

Nuestro estudio tratará la biomasa gaseosa proveniente del relleno sanitario de Namora - Cajamarca. Para lo cual estudiaremos las siguientes teorías.

### 1.3.2. ¿Que son los residuos sólidos urbanos?

Los residuos sólidos, constituyen aquellos materiales desechados tras su vida útil, y que por lo general por sí solos carecen de valor económico.

Se componen principalmente de desechos procedentes de materiales utilizados en la fabricación, transformación o utilización de bienes de consumo. Todos estos residuos sólidos, en su mayoría son susceptibles de reaprovecharse o transformarse con un correcto reciclado. Los principales "productores" de residuos sólidos somos los ciudadanos de las grandes ciudades, con un porcentaje muy elevado, en especial por la poca conciencia del reciclaje que existe en la actualidad. Afortunadamente esto está cambiando poco a poco, y problemas como el cambio climático, son ahora una amenaza real y a corto plazo.

Los residuos sólidos urbanos pueden clasificarse en varios tipos:

Residuos sólidos biodegradables

Residuos sólidos reciclables

Residuos sólidos inertes

Residuos sólidos comunes

Residuos sólidos peligrosos

Los residuos en general se pueden dividir no sólo en residuos sólidos, sino también en líquidos o gaseosos. (INFORECICLAJE, 2017 p. 1)

### 1.3.3. ¿Qué es un relleno sanitario?

Un relleno sanitario es una instalación para la disposición de residuos en capas de basura compactada que luego se cubre con capas de tierra. Cuando el relleno sanitario alcanza su capacidad, se cierra el sitio.

Los rellenos sanitarios es uno de los métodos más usados para la eliminación de los residuos sólidos. Esta técnica de gestión de residuos se ha ido desarrollado e implementando desde la década de 1930, en respuesta a las crecientes presiones creadas por determinadas población en continuo desarrollo y crecimiento.

El sitio de un relleno sanitario debe seleccionarse con mucho cuidado. Idealmente, debe ser colocado por encima del agua, en una zona que no sea geológicamente activa. Otras consideraciones tienen que ver con la ubicación, porque los vertederos pueden ser olorosos en ocasiones, por eso generalmente no se deben encontrar en proximidad a comunidades residenciales.

El terreno debe ser de bajo costo para que el costo de operación del relleno sanitario sea rentable, y debe ser accesible por carretera para que la basura pueda ser fácilmente depositada.

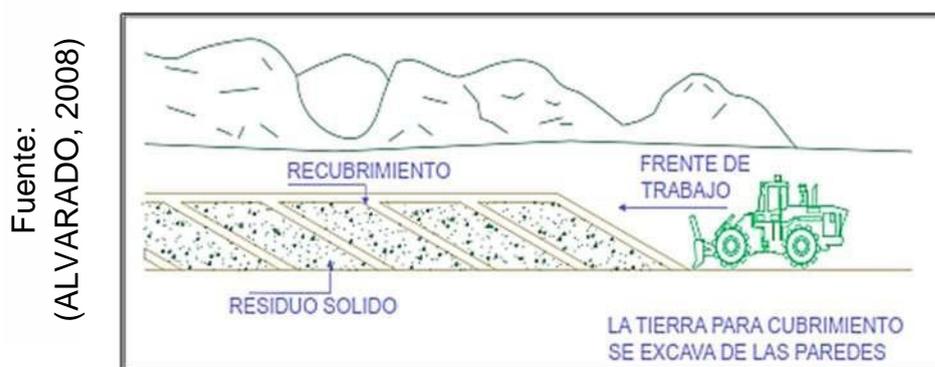
La preparación del sitio comienza con la implantación de varios revestimientos. Es común comenzar con una base de arcilla compactada, seguido por capas impermeables de plástico (se obtienen del reciclaje de plástico), con tuberías para atrapar y llevar a los materiales que se filtran desde el vertedero, incluidos los líquidos y gases. (ALVARADO, 2008 p. 55).

a. Relleno sanitario tipo zanja

Consiste en depositar los residuos sólidos sobre el talud inclinado donde son esparcidos y compactados con maquinaria pesada, en capas hasta formar una celda después será cubierto con material excavado de la trinchera.

Este modelo es usado normalmente donde el nivel de aguas freáticas es profundo, las pendientes de terreno son suaves y las trincheras pueden ser excavadas utilizando equipos de movimiento de tierras. (ALVARADO, 2008 p. 56)

Figura 4



Relleno tipo zanja

b. Relleno sanitario tipo área

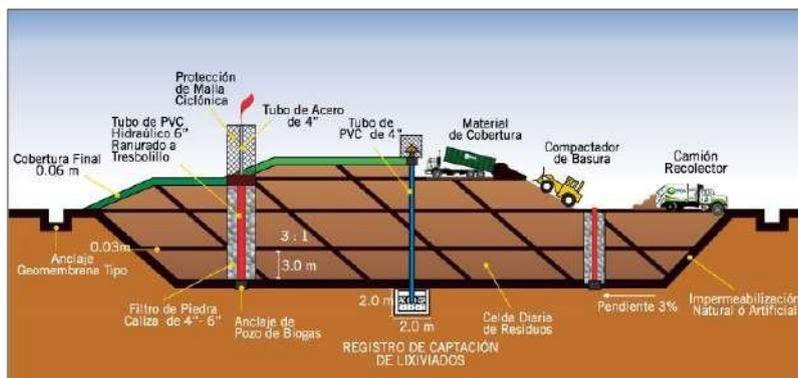
El modelo es similar al de trinchera y consiste en depositar los residuos sobre el talud inclinado, se compactan en capas inclinadas de 60 cm. para formar la celda que después se cubre con tierra, las celdas se construyen inicialmente en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo.

Este método se usa en cualquier terreno disponible como canteras abandonadas, inicio de cañadas, terrenos planos, depresiones y Ciénegas contaminadas, para que el relleno sea económico, el material de cubierta debe estar próximo al relleno.

Para que se cumpla la condición de ser un relleno sanitario, al finalizar el trabajo se debe cubrir las celdas para evitar la proliferación de malos olores y evitar que los residuos sean llevados fuera del relleno. (ALVARADO, 2008 p. 57)

Figura 5

Fuente: (ambiental,  
2010)



Relleno sanitario tipo área

#### 1.3.4. ¿Qué es biogás?

El biogás es un producto natural de la descomposición de material en condiciones anaeróbicas (sin oxígeno). El metano es un potente gas de efecto invernadero 28 a 36 veces más dañino que el dióxido de carbono por lo que retiene el calor en la atmósfera durante un período de 100 años.

Composición del biogás de relleno sanitario se observan en la figura:

Figura 6

Fuente: (REATEGUI,  
2010)

Componente	Porcentaje en base seca
<b>Metano</b>	<b>45-60</b>
<b>Dióxido de carbono</b>	<b>40-60</b>
<b>Nitrógeno</b>	<b>2-5</b>
<b>Oxígeno</b>	<b>0.1-1.0</b>
<b>Sulfuros, disulfuro, mercaptanos</b>	<b>0-1.0</b>
<b>Amoniaco</b>	<b>0.1-1.0</b>
<b>Hidrogeno</b>	<b>0-0.2</b>
<b>Monóxido de carbono</b>	<b>0-0.2</b>
<b>Componentes en trazas*</b>	<b>0.01-0.6</b>

Composición del biogás en el RS Huaycoloro - Lima.

- a. Propiedades: El biogás es un gas incoloro, inodoro, inflamable, no toxico, siendo más ligero que el aire, sus principales componentes son metano y dióxido de carbono. La existencia de metano, gas combustible, en concentraciones cercanas al 50%, le confiere un poder calorífico considerable al biogás. (Vasudevan Rajaram, 2012 p. 12)

Figura 7

Composición	55 – 70% metano (CH <sub>4</sub> ) 30 – 45% dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m <sup>-3</sup>
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m <sup>3</sup> biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH <sub>4</sub> mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m <sup>-3</sup>
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol <sup>-1</sup>

Fuente: Deublein y Steinhauser (2008)

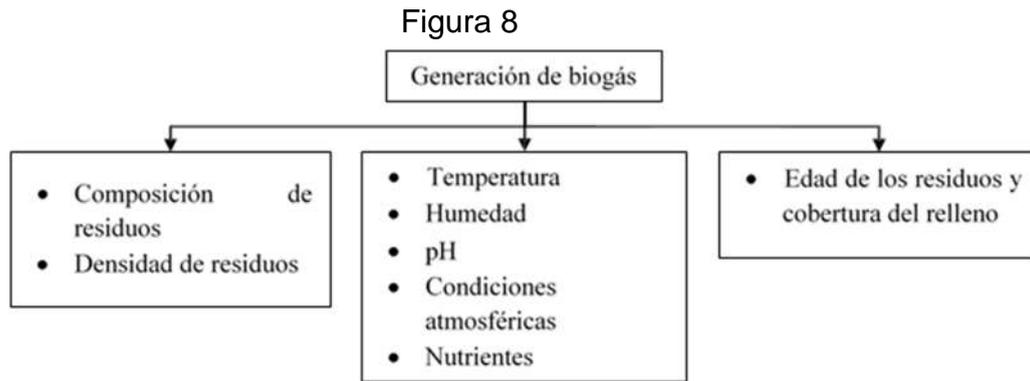
Propiedades del biogás.

b. Factores que influyen en la producción de biogás

El biogás se genera como resultado de reacciones físicas, químicas y microbianas que ocurren dentro de los rellenos sanitarios, debido a la naturaleza orgánica de gran parte de los residuos, el proceso microbiológico determina la producción de biogás. Estos procesos son sensibles al medio en que se desarrollan, por lo que existe una serie de condiciones naturales y artificiales que determinan la población microbiana y, en consecuencia, la producción de biogás. Es importante mencionar que el biogás se origina en condiciones anaeróbicas, por lo que cualquier circunstancia que cambie el proceso a una condición aeróbica, influirá en la creación de biogás. (Vasudevan Rajaram, 2012 p. 13).

Los factores que influyen en la producción de biogás se muestran en la figura:

Fuente:  
(Vasudevan  
Rajaram, 2012)



Los factores que influyen en la producción de biogás

Factores:

- Composición de residuos: Es el factor más importante, pues el máximo potencial de generación de biogás depende del porcentaje de residuos orgánicos sobre el total, además del tipo de desecho orgánico, pues estos son la fuente de producción de biogás.
- Densidad de residuos y tamaño de las partículas: Esto afecta el transporte de nutrientes y humedad en el relleno, la presencia de partículas pequeñas favorece el transporte, lo que aumenta la tasa de formación de biogás.
- Temperatura: la temperatura dentro de un relleno sanitario tiende a incrementarse. La temperatura de un relleno sanitario es mayor que la ambiental, debido a que ocurren reacciones exotérmicas en su interior. De este modo, influencia el tipo de bacteria que es predominante y, en consecuencia, la tasa de generación de biogás. Se observa que a bajas temperaturas disminuye la tasa, de modo que los rellenos sanitarios poco profundos, al verse su temperatura afectada mucho más por variaciones estacionales, presentan cambios significativos en la tasa de producción de biogás. El rango óptimo para la existencia de bacterias anaeróbicas es de 30°C a 41°C. En rellenos sanitarios con temperaturas bajo los 10°C hay una drástica caída en la actividad de dichas bacterias.
- Humedad contenida: Esta puede variar mucho en distintas zonas del relleno sanitario. Bajos índices de humedad limitan la descomposición de los residuos y, por lo tanto, restringen la producción de biogás. El

contenido óptimo de humedad para la producción de biogás es de 50% a 60%.

- pH y nutrientes: La generación de metano en rellenos sanitarios es óptima cuando el pH es neutro. El pH tiene un gran efecto en la actividad biológica, ejemplo, un pH bajo 6.0 es perjudicial para las bacterias metanogénicas. El pH óptimo durante la formación de metano está en un rango de 6.5 a 8.0. El ecosistema anaeróbico necesita de una serie de nutrientes, entre los que destacan el nitrógeno y fósforo, siendo este último el que tiene mayor posibilidad de escasear.
- Condiciones atmosféricas: las condiciones climatológicas son importantes a considerar, especialmente las precipitaciones. Las precipitaciones son la mayor fuente de humedad para un relleno sanitario, que además de contribuir a la producción de biogás, favorecen la “impermeabilización” del terreno impidiendo el ingreso de aire por grietas.
- Cobertura: El recubrimiento diario tiene una serie de efectos en el relleno sanitario, ya que evita el contacto de los desechos con el oxígeno, permitiendo que se consigan condiciones anaeróbicas, además reduce la entrada de aguas lluvias. Que los residuos sean o no cubiertos diariamente determinará el tipo de reacción biológica que tendrá lugar en el relleno sanitario. Una producción óptima requiere condiciones anaeróbicas y, por lo tanto, recubrimiento diario. El espesor debe impedir que la temperatura de la basura se vea afectada por las condiciones meteorológicas y obstaculizar el ingreso del aire.
- Edad de los residuos: Una vez que las condiciones anaeróbicas se establecen, la generación de biogás es significativa durante 10 a 20 años. Los rellenos sanitarios con varias décadas tienen menos probabilidad de producir grandes cantidades de biogás, pues la mayor parte de las descomposiciones biológicas ya han ocurrido. La producción de biogás no es constante a lo largo del tiempo. (Vasudevan Rajaram, 2012 p. 13)

Se considera que los gases se emiten en cinco fases secuenciales, que serán descritas en la siguiente sección.

c. Fases de la generación del biogás

Se pueden distinguir cinco fases en la generación de biogás:

Fase I, Descomposición aeróbica: Ocurre inmediatamente después del depósito de residuos, mientras haya presencia de oxígeno en el relleno sanitario. La descomposición aeróbica produce dióxido de carbono, agua y calor.

Fase II, Descomposición anóxica, no metanogénica: En esta fase se originan compuestos ácidos y gas hidrógeno, además de sostenerse la producción de dióxido de carbono. También se destruyen grandes moléculas, que forman pequeñas cadenas en las que se incluye amoníaco, dióxido de carbono, hidrógeno y agua. Estas reacciones consumen el oxígeno y nitrógeno residual presente en el relleno sanitario.

Fase III, Anaeróbica Metanogénica inestable: Aquí la creación de dióxido de carbono decrece, porque la descomposición comienza la transición desde una fase aeróbica a una anaeróbica. La descomposición anaeróbica produce calor, agua y metano. Las bacterias metanogénicas se activan durante este periodo, usando subproductos de la etapa anterior.

Fase IV, Anaeróbica Metanogénica estable: En esta fase el gas metano se produce en concentraciones entre 40% a 70% del volumen total y, generalmente, en forma estable. Es usual que la mayoría de los rellenos sanitarios alcancen la fase metanogénica estable dos años después de posicionados los residuos.

Fase V, Anaeróbica Metanogénica en disminución: Después de convertirse gran parte del material biodegradable en metano y dióxido de carbono durante la fase IV, la humedad sigue migrando a través de los desperdicios y convierte el material orgánico que antes no estaba disponible. Sin embargo, la creación de biogás baja significativamente

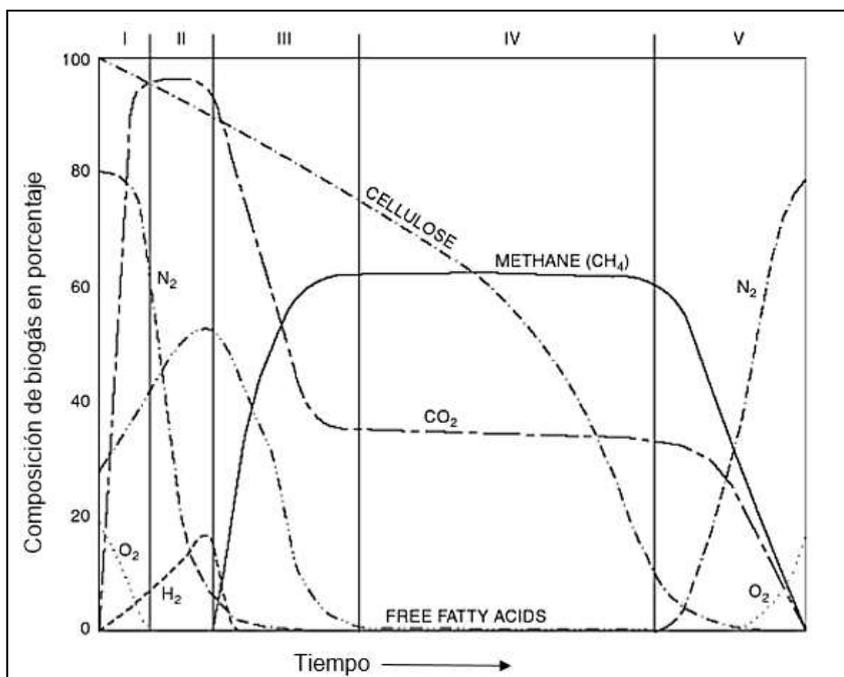
debido a la escasez de nutrientes y por sustratos disponibles son de degradación lenta. (Vasudevan Rajaram, 2012 p. 11)

Tabla N. 1 Duración típica de las fases de generación de biogás en un relleno sanitario.

Fase	Condición	Duraci
I	Aeróbica	Horas a Semanas
II	Anóxica	1 a 6 Meses
III	Anaeróbica, Metanogénica, inestable	3 Meses a 3 Años
IV	Anaeróbica, Metanogénica, estable	8 a 40 Años
V	Anaeróbica, Metanogénica, en disminución	1 a 40 Años
<b>Total</b>		10 a 80 años

Fuente: (Vasudevan Rajaram, 2012)

Figura 9



Fases de generación de biogás en un relleno sanitario.

Fuente: (Vasudevan Rajaram, 2012)

### 1.3.5. Fórmulas para cálculo matemático de producción de biogás.

Muchos métodos y modelos han sido desarrollados para proyectar el potencial de generación de biogás.

Los modelos más aceptados son los desarrollados por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático).

Fórmula para cálculo de producción de biogás según el modelo IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático).

Este modelo utiliza una ecuación de degradación de primer orden, resultando la más apropiada para el cálculo de emisiones en rellenos sanitarios de forma individual y para la predicción de la generación de biogás durante la vida útil del relleno sanitario utilizando valores específicos.

Ecuación de producción de metano en un año

$$Q_{mT} = F * k * L_0 \sum_{i=1}^n M_i * e^{-k(T-i)}$$

$Q_{mT}$  : generación máxima de metano generada en el año T [m<sup>3</sup>/año].

F: fracción de metano en el biogás (%)

k : Tasa anual de generación de metano [1/año].

$L_0$  : Potencial de generación de metano [m<sup>3</sup>/ton].

$M_i$  :Cantidad de residuos depositadas al año i [ton].

n : Año de cálculo-año inicial de disposición de residuos.

T: edad del relleno sanitario

Los valores típicos de k y  $L_0$  son obtenidos de datos de rellenos sanitarios, estos varían entre 0,003 y 0,21 al año, y entre 6,2 y 270 m<sup>3</sup>/Ton respectivamente. Estos modelos son determinados por modelos teóricos y a partir de pruebas de campo (Panesso, "et al.", 2012, p.1173).

Figura 10

Fuente: Alzate D. y García A.

Precipitación anual (mm/año)	$k$ (año <sup>-1</sup> )	$L_0$ m <sup>3</sup> /Ton
0-249	0.040	60
250-499	0.050	80
500-999	0.065	84
≥ 1000	0.080	84

Índices de generación de metano  $k$  y  $L_0$ .

Estos valores están directamente relacionado con el factor climatológico de las lluvias de acuerdo a la región donde se ubica el RS.

Ecuación para calcular de la extracción de metano en un año.

Para realizar este cálculo se necesita tener en cuenta la eficiencia promedio de extracción según el diseño de pozos a construir.

En este nuestro caso será tomado el diseño de pozos verticales.

Tabla N. 2 eficiencias de extracción según el diseño a seguir.

Tipo de cobertura	Tipo de sistema de activo de extracción	Eficiencia de extracción promedio [%]
-	Sin sistema de extracción activo	0
Cobertura diaria	Pozos verticales	67
Cobertura diaria	Trincheras horizontales	75
Cobertura	Pozos verticales	75
Cobertura	Trincheras horizontales y pozos	87
Cobertura final	Pozos verticales	87
Cobertura final y geo membrana	Trincheras horizontales o pozos verticales	90

Para esto se usa la siguiente ecuación de cálculo de extracción de metano en un año (Panesso, et al., 2012, p.1176)

Ecuación 2: para calcular la extracción de metano en un año.

$$Q_{CH_4} = n \times Q_{mt}$$

$Q_{mt}$  = metano producido en un año.

$n$  = eficiencia de extracción.

$Q_{mt}$  = cantidad de metano producido en un año.

Calcular el potencial energético del metano extraído en un año

El potencial energético del metano en un año se calcula con la ecuación (Panesso, y otros, 2012 p.1176)

Ecuación 3: potencial energético del metano en un año.

$$Pt_{CH_4} = Q_{CH_4} \times PCI_{CH_4}$$

$Pt_{CH_4} = 633688 \text{ m}^3/\text{año}.$

$PCI_{CH_4} = 9200 \text{ kcal/m}^3$  (OSINERMING, 2015 p.5).

Los valores se dan en kcal para lo cual se necesita convertir a kW/h.

➤ Calculo diario y por hora del potencial energético del metano.

Ecuación 4: potencial energético diario.

$$P_{dias} = \frac{Pt_{CH_4}}{1 * 365 d} = kW/día.$$

Ecuación 5: potencial energético en horas.

$$P_{hora} = \frac{kw/d}{1 d \times 24 h} = kW/h$$

Determinar la conversión de la energía química del metano a eléctrica mediante un grupo electrógeno

La tecnología disponible y más utilizada para la conversión energética del metano presente en el biogás, son los motores de combustión interna, logrando una eficiencia eléctrica en un rango de 30% a 40%. (U.S. Environmental Protection Agency (E.P.A), 2016 p. 36).

Para calcular un motor se usa un promedio de eficiencia de 35%.

La ecuación a usar es la siguiente:

Ecuación 6: cálculo de producción de energía a la salida del grupo electrógeno

$$PE_{salida} = P_{CH_4} - h * n$$

Donde:

$PE_{salida}$  = potencia eléctrica a la salida del generador.

$P_{CH_4-h}$  = potencia energética del metano en horas.

$n$  = eficiencia del motor.

Los valores se dan en 300 kW-h.

### 1.3.6. Tecnologías de utilización de biogás de relleno sanitario

El objetivo de un proyecto de aprovechamiento energético de biogás de relleno sanitario es convertir el biogás en energía útil. Las formas de emplearlo se adaptan a cada relleno por su distinto tamaño. Destacan entre los usos los siguientes tipos de proyectos:

- ✓ Proyectos de generación de electricidad y cogeneración
- ✓ Proyectos de uso directo como gas de medio-Btu en calderas, secadores, hornos u otros equipos térmicos.
- ✓ Proyectos de conversión de biogás a un gas de alto-Btu asimilable a gas natural para comercializarlo como combustible en gas de cañería, CNG o LNG (U.S. Environmental Protection Agency (E.P.A), 2016 p. 33)

Tabla N. 3 Alternativas tecnológicas de aprovechamiento de biogás de relleno sanitario.

<b>Tecnología</b>	<b>Flujo de biogás (con 50% de metano)</b>
<b>Electricidad</b>	
Motores de combustión interna (800 kW a 3MW por motor)	300 a 1.100 [ft <sup>3</sup> /min]; Múltiples motores pueden ser
Turbina a gas (1 a 10 MW por turbina)	Exceder como mínimo 1.300 [ft <sup>3</sup> /min]; típicamente sobre
Micro turbina (30 a 250 kW por turbina)	20 a 200 [ft <sup>3</sup> /min].
<b>Uso directo como gas de medio-Btu</b>	
Calderas, secadores y calentadores de proceso.	Proyectos en que se utilice todo el biogás disponible.
Calefactores infrarrojos de gas	Pequeñas cantidades de gas, tan bajo como 20
Invernaderos	Pequeñas cantidades de gas.
Evaporación de lixiviados	Se requiere de 300 [m <sup>3</sup> ] para tratar 1 m <sup>3</sup> de
<b>Uso directo como gas de alto-poder calorífico</b>	
Gas de cañería	6000 m <sup>3</sup> /h o más, basado en proyectos operativos
CNG o LNG	Depende de las condiciones específicas del proyecto.

Fuente: (U.S. Environmental Protection Agency (E.P.A), 2016 p. 49)

Tabla N. 4 Rangos típicos de flujos, potencias y eficiencias de tecnologías de generación eléctrica.

<i>Tecnología</i>	<i>Rango típico de flujo</i>	<i>Tamaño preferido de planta</i>	<i>Eficiencia de conversión eléctrica</i>
Microturbinas	<100 ft <sup>3</sup> /min	<100	25 a 30 %
Motores de combustión interna	>150 a 5000 ft <sup>3</sup> /min	0.5 a 12 MW	32 a 40 %
Turbina de gas	>4000 a 20000 ft <sup>3</sup> /min	3 a 18 MW	26 a 32 %
Turbinas de vapor	>6000 a 25000 ft <sup>3</sup> /min	10 a 50 MW	24 a 29 %
Ciclo combinado	>5000 a 25000 ft <sup>3</sup> /min	>10 MW	38 a 45 %

Fuente: (CONESTONGA - ROVERS Y ASSOCIATES, 2004 p. 51)

### 1.3.7. Sistema de extracción de biogás

Un sistema de extracción puede ser pasivo o activo. Un sistema pasivo drena el biogás al interior de un relleno sanitario mediante la implementación de chimeneas que otorgan un paso de baja pérdida de carga para el biogás, un sistema activo emplea equipos de extracción que generan la diferencia de presión necesaria para evacuar el biogás del interior del relleno sanitario.

Tabla N. 5 Eficiencias promedio de extracción.

<b>Tipo de cobertura</b>	<b>Tipo de sistema de activo de extracción</b>	<b>Eficiencia de extracción promedio [%]</b>
-	Sin sistema de extracción activo	0
Cobertura diaria	Pozos verticales	67
Cobertura diaria	Trincheras horizontales	75
Cobertura	Pozos verticales	75
Cobertura	Trincheras horizontales y pozos	87
Cobertura final	Pozos verticales	87
Cobertura final y geo membrana	Trincheras horizontales o pozos verticales	90

Fuente: HAMID, Amini; DEBRA, Reinhart y ANTTI, Niskanen

Para efectos de aprovechamiento energético, se deben considerar sistemas activos, estos sistemas consisten en los siguientes componentes:

- Pozos de extracción: Existen pozos con tuberías verticales, horizontales y mixtas, estos pueden construirse junto con el relleno sanitario o realizar excavaciones para una instalación posterior.
- Cabezal de pozo: Situado en la parte superior de los pozos de extracción. Permite controlar la extracción de gas. Cumplen funciones como medir caudal de gas de cada pozo, regular el flujo, eliminar el agua, manejo combinado de lixiviados y gas, y constituir un acople telescópico para considerar el movimiento de la superficie del relleno sanitario. El material más utilizado es polietileno (PE).
- Tuberías colectoras: Transportan el biogás de los pozos de extracción a la estación de aprovechamiento o incineración. Las tuberías por lo general están hechas de polietileno —de media o alta densidad— o polipropileno, pues estos materiales presentan propiedades óptimas de resistencia mecánica y química. Además el sistema debe contar con puntos de drenaje de agua y poseer un número de válvulas suficientes para aislarlo en secciones.
- Bombeo de extracción: Con frecuencia se usan compresores o sopladores centrífugos para la extracción del biogás. En el caso de los compresores, hay disponibles en el rango de capacidad de 150 (m<sup>3</sup>/h) hasta 3000 (m<sup>3</sup>/h). Además deben considerarse supresores de llama en caso de auto combustión, con el fin de minimizar el riesgo de una explosión. Adicionalmente hay instrumentación para balancear el flujo extraído de cada pozo. (Horacio, y otros, 2009 p.16)

#### Partes de un sistema de extracción de biogás

##### a. Pozos de extracción

El método más usado para la extracción de biogás es la construcción de pozos verticales, los que se instalan en áreas de disposición ya clausuradas

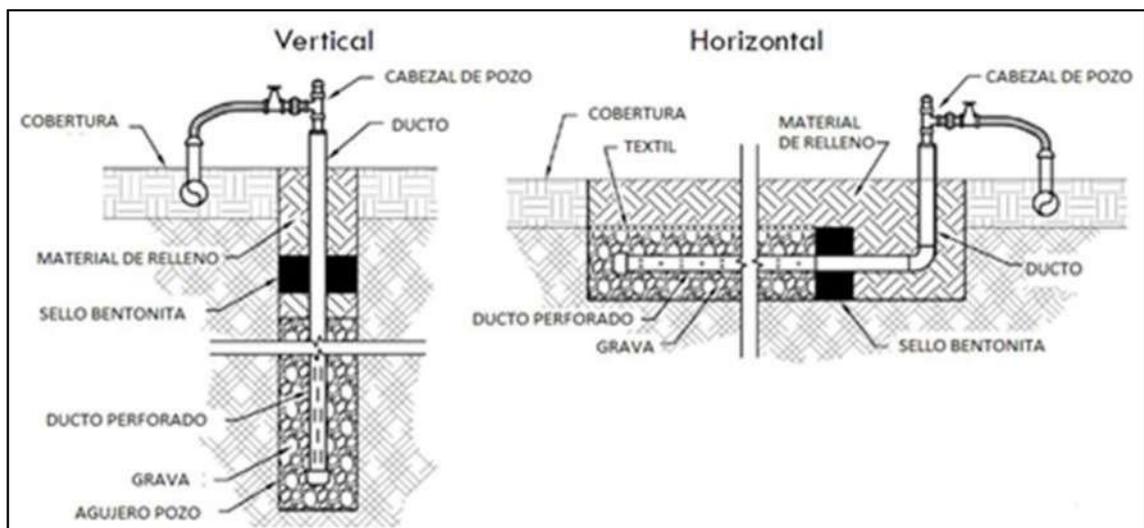
El método menos usado para la captura de biogás es el de colectores horizontales, a veces denominado zanjas. Se instalan en áreas poco profundas y en rellenos sanitarios que aún están en operación. Son una

buena alternativa para rellenos con altos niveles de lixiviados, pues evitan la obstrucción de cañerías.

Habitualmente, cuando se emplean colectores horizontales, también se usan pozos de extracción vertical, es decir, sistemas mixtos.

Se observa en la Figura 9 el esquema con los tipos de pozos de extracción recomendados para sistemas activos. Estos cuentan con tuberías perforadas, montadas en zanjas (como es el caso de los colectores horizontales), rellenos con materiales de distinta granulometría, para así poder evitar la infiltración de aire al relleno y a su vez facilitar la extracción del biogás. (U.S. Environmental Protection Agency (E.P.A), 2016).

Figura 11



Pozos de extracción de biogás

Fuente: (U.S. Environmental  
Protection Agency (E.P.A),  
2016)

Figura 12

Fuente: (Davila, 2009)



Ejemplo un pozo de extracción de biogás.

b. Cabezal de pozo

Los cabezales de pozo permiten monitorear la captura de biogás en los colectores. Poseen acoples rápidos para medir la presión en el cabezal, sistemas de placa orificio para medir el caudal de biogás extraído y sensores de temperatura. Además contienen una válvula que regula la succión de biogás.

En la Figura 11 se observa un ejemplo de cabezal de pozo de extracción, con sus puertos de monitoreo de temperatura y presión, y la válvula que permite regular la succión de biogás en un pozo de extracción vertical (Davila, 2009 p. 31).

Figura 13

Fuente: (Davila, 2009)



Cabezal de pozo de extracción

### c. Tuberías colectoras

Dirigen el biogás a una estación de incineración o de aprovechamiento energético. Un sistema de colección común está compuesto por:

- Tuberías de conexión lateral de pequeño diámetro, a partir de los cabezales de los pozos de extracción o colectores. Pueden estar por encima o debajo del nivel del suelo. Se usa en general Polietileno de alta densidad (HDPE) o PVC, este último material solo en caso de tuberías por encima del suelo.
- Múltiple de distribución que conecta tuberías de conexión lateral con una o más tuberías principales.
- Tubería principal que transporta el biogás a la planta de incineración o aprovechamiento.

Los diámetros de los ductos incrementan su tamaño a medida que se acercan al soplador o compresor del sistema de extracción, para adaptarse al mayor caudal. El sistema debe ser dimensionado para la máxima tasa de producción de biogás.

Para eliminar el agua condensada que se encuentra en el biogás, se usan trampas de condensado o cárcamos de condensado (Estaciones de almacenamiento y bombeo). (Horacio, y otros, 2009 p. 16)

Figura 14

Fuente: (GLOBAL METHANE  
INICIATIVE)



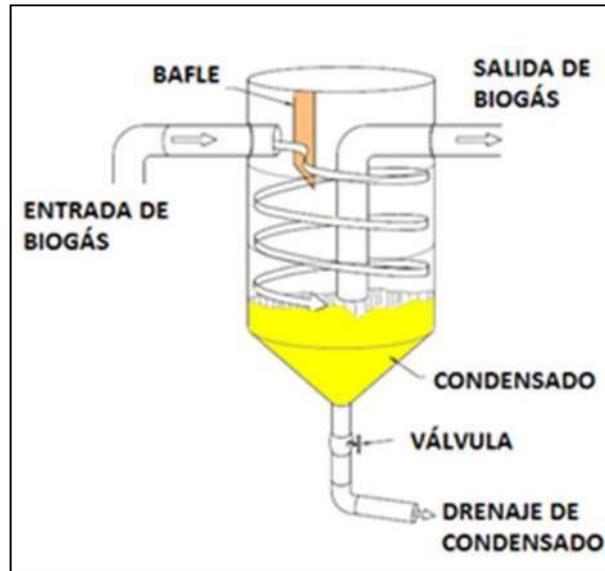
#### 1.3.8. Planta de tratamiento y limpieza del biogás

Antes de que biogás pueda ser utilizado en un proceso de conversión de energía, debe ser tratado acondicionado para su uso, para esto se requiere eliminar el condensado, partículas y otras impurezas presentes en el biogás.

Los sistemas de tratamiento se pueden dividir en tratamiento de tratamiento primario y secundario.

- a. Primario: Los sistemas de procesamiento incluyen drenaje y filtración para eliminar la humedad y las partículas, para esto se usara las trampas de condensado, condensadores y partículas grandes presentes en el biogás (U.S. Environmental Protection Agency (E.P.A), 2016)

Figura 15



Fuente: (Associates,  
2010)

Separador de humedad centrífugo.

- Equipo de compresión de biogás: después de haber pasado por el condensador el biogás es comprimido a una presión de 10 psi (HIRSCH, 2011 pág. 12).

Figura 16



Fuente: (HIRSCH,  
2011)

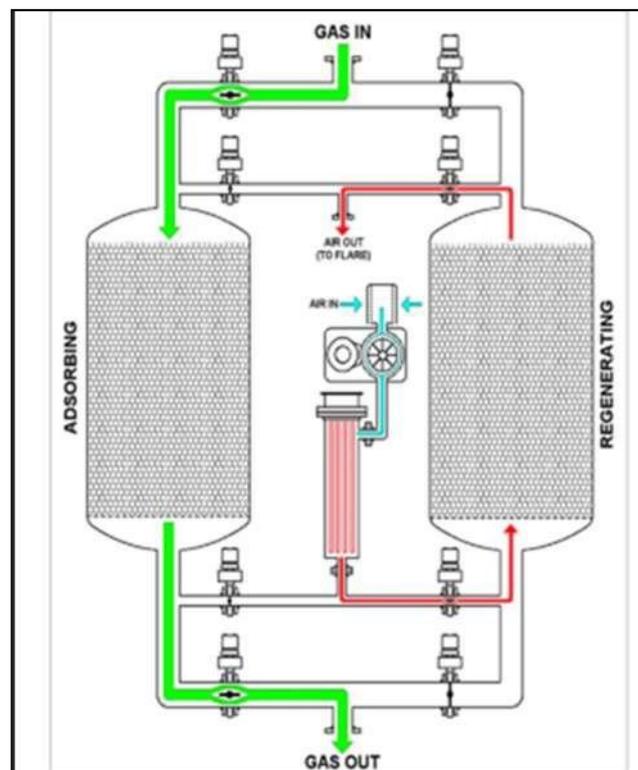
Compresor

- Intercambiador de calor: usado para enfriar el biogás comprimido permitiendo un manejo seguro del biogás y disminuyendo su volumen para su posterior tratamiento secundario.
- b. Secundario: Los sistemas de tratamiento secundario están diseñados para proporcionar una limpieza de gas mucho mayor de la que es posible utilizando sólo sistemas primarios.

Los sistemas de tratamiento de los proyectos de electricidad de biogás suelen incluir una serie de filtros de carbón activado para remover los siloxanos, el sulfuro de hidrogeno y otros componentes volátiles.

- Los siloxanos son compuestos volátiles, se convierten en dióxido de silicio cuando el biogás se quema. El dióxido de silicio (principal componente de arena) se acumula en el interior de los motores de combustión interna y las turbinas de potencialmente reduciendo el rendimiento y aumentando los costos de mantenimiento. La eliminación del siloxano puede ser costosa y difícil, por lo que la decisión de invertir en el tratamiento de siloxano depende del proyecto.
- Compuestos de azufre, que incluyen sulfuros como el sulfuro de hidrógeno, son corrosivos en la presencia de humedad. estos compuestos estarán en concentraciones relativamente bajas, pero es necesario eliminarlos para evitar daños a los componentes móviles.

Figura 17



Fuente: (U.S.  
Environmental Protection  
Agency (E.P.A), 2016)

Sistema de remoción de siloxanos, ácido sulfúrico y COV's.

Planta de tratamiento de biogás ubicada en el relleno sanitario LOMAS LOS COLORADOS – CHILE.

Figura 18

DETALLE PLANTA DE ACONDICIONAMIENTO DE BIOGÁS

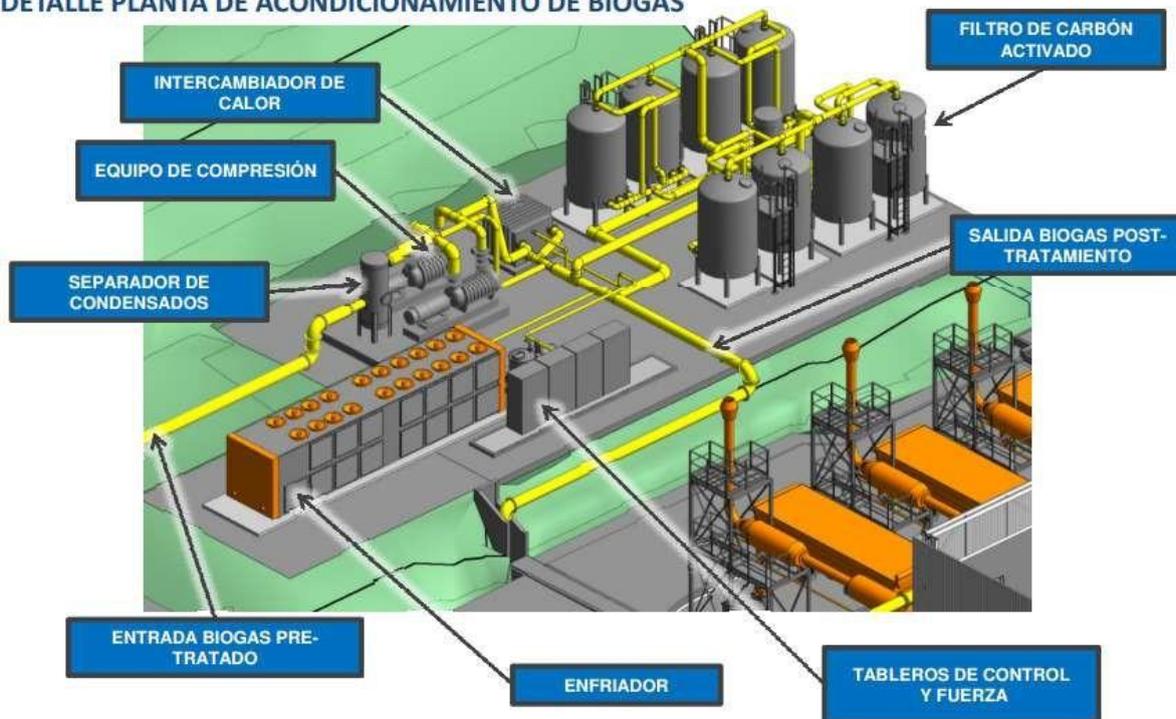
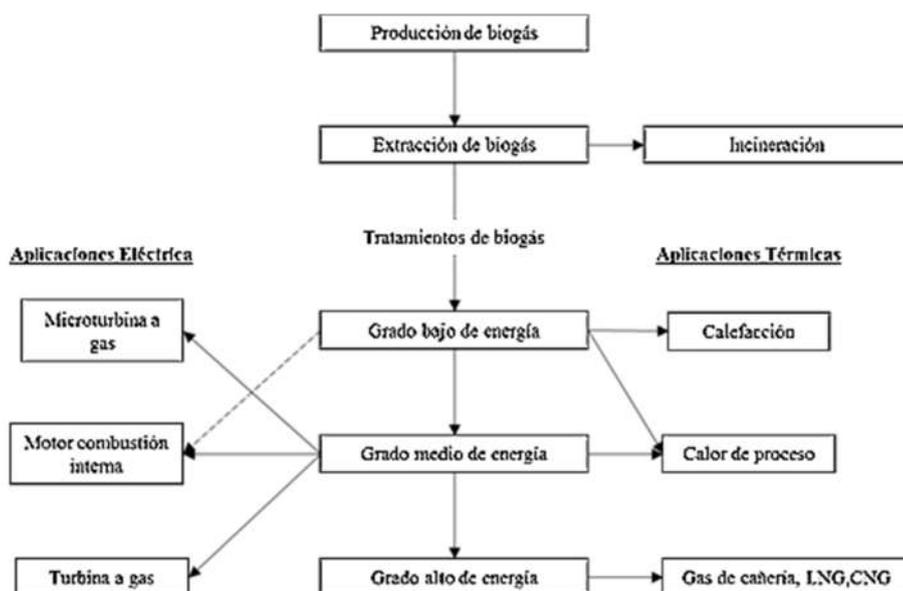


Figura: (HIRSCH, 2011)

Planta de tratamiento de biogás Central Loma Los Colorados II - Chile.

Las aplicaciones potenciales del biogás dependen del nivel de tratamiento y esto se observa en la figura.

Figura 19



Usos del biogás según su tratamiento.

Fuente: (ARRIAZA, 2016)

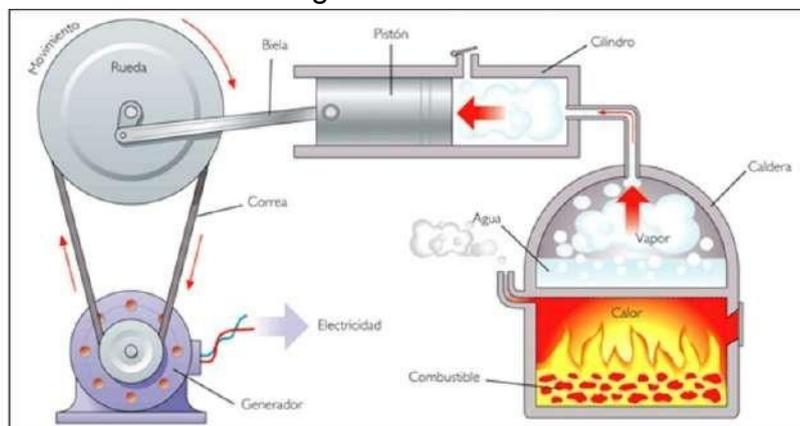
### 1.3.9. Grupo electrógeno de generación de energía eléctrica

Un grupo electrógeno es una máquina encargada de transformar la energía química potencial del metano contenido en el biogás en energía mecánica, la cual hace girar al rotor dentro del estator generando así energía eléctrica.

Un grupo electrógeno consta de las siguientes partes:

Motor de combustión interna: es una máquina que transforma la energía química a energía mecánica mediante la quema de combustible dentro de la cámara de combustión.

Figura 20



Transformación de energía química a mecánica.

Para realizar el cálculo de energía de transformación se calcula mediante la ecuación:

$$P_{\text{salida en kW}} - h = \text{energía potencial química kW} - h * \bar{n}$$

Donde:

la energía potencial química contenida en combustibles, ya sea gas, diesel, gasolina, metano, biogás se mide en kW – h

$n$  = eficiencia del motor

Fuente:  
<http://caquezadepartamental10032014.blogspot.pe/2014/05/mecanismos-de-transformacion-energia.html>

Figura 21

Fuente: CAT –  
engines

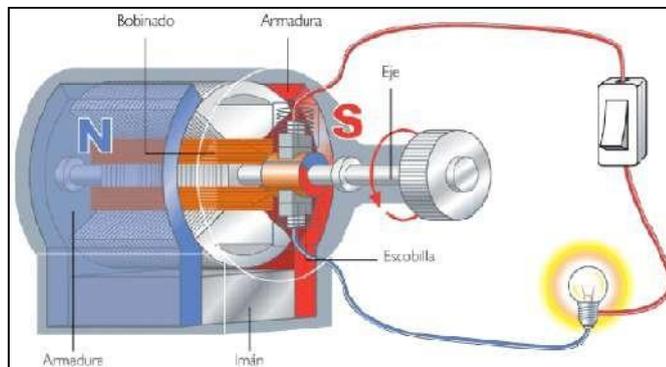


Motor de combustión interna marca CAT G3612.

Alternador: es una máquina eléctrica que transforma la energía mecánica a energía eléctrica. La generación de energía lo logra gracias a la interacción de los dos elementos principales que lo componen: la parte móvil llamada rotor, y la parte estática que se denomina estator, los cuales generan un campo electromagnético dando inicio a la generación de corriente eléctrica.

Figura 22

Fuente:  
<http://saltofm2010.blogspot.pe/2010/08/introduccion-al-tema->



Partes de un generador de energía eléctrica.

Partes de un generador de energía eléctrica.

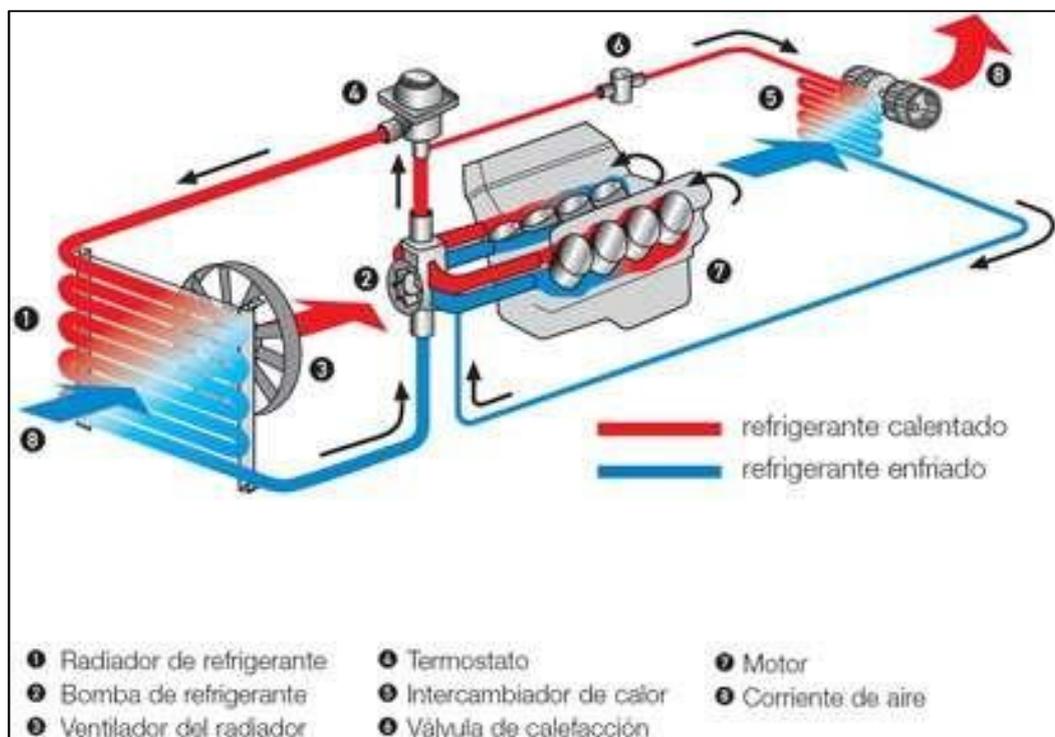
Cuando el generador eléctrico está en funcionamiento, una de las dos partes genera un flujo magnético (actúa como inductor) para que el otro lo transforme en electricidad (actúa como inducido), el elemento inductor es el rotor y el inducido el estator.

Regulación del motor. El regulador del motor es un dispositivo mecánico diseñado para mantener una velocidad constante del motor con relación

a los requisitos de carga. La velocidad del motor está directamente relacionada con la frecuencia de salida del alternador, por lo que cualquier variación de la velocidad del motor afectará a la frecuencia de la potencia de salida.

Sistema de refrigeración. El sistema de refrigeración del motor es el encargado de mantener una temperatura optima de trabajo puede ser refrigerado mediante agua, aceite o aire - aire. El sistema de refrigeración por agua consta de un radiador, un ventilador que enfría el agua caliente que circula por el motor.

Figura 23



Sistema de refrigeración de motor

Aislamiento de la vibración. El grupo electrógeno debe tener tacos antivibrantes diseñados para minimizar las vibraciones transmitidas por el grupo motor-alternador. Estos aisladores están colocados entre la base del motor, del alternador, del cuadro de mando y la bancada.

Fuente:  
[http://www.radiadoresstopcar.com.ve/wp-content/uploads/2012/03/1.se\\_.j](http://www.radiadoresstopcar.com.ve/wp-content/uploads/2012/03/1.se_.j)

Figura 24



Soportes antivibratorios para el grupo electrógeno

Fuente:  
<https://www.mecanocaucho.com/es/noticias/soporte-antivibratorio-para-grupos-electricos3%B3genos/>

Sistema de control. Se instala para controlar el funcionamiento del grupo electrógeno y salida de voltaje del generador, además de proteger el sistema contra posibles fallos en el funcionamiento.

Figura 25

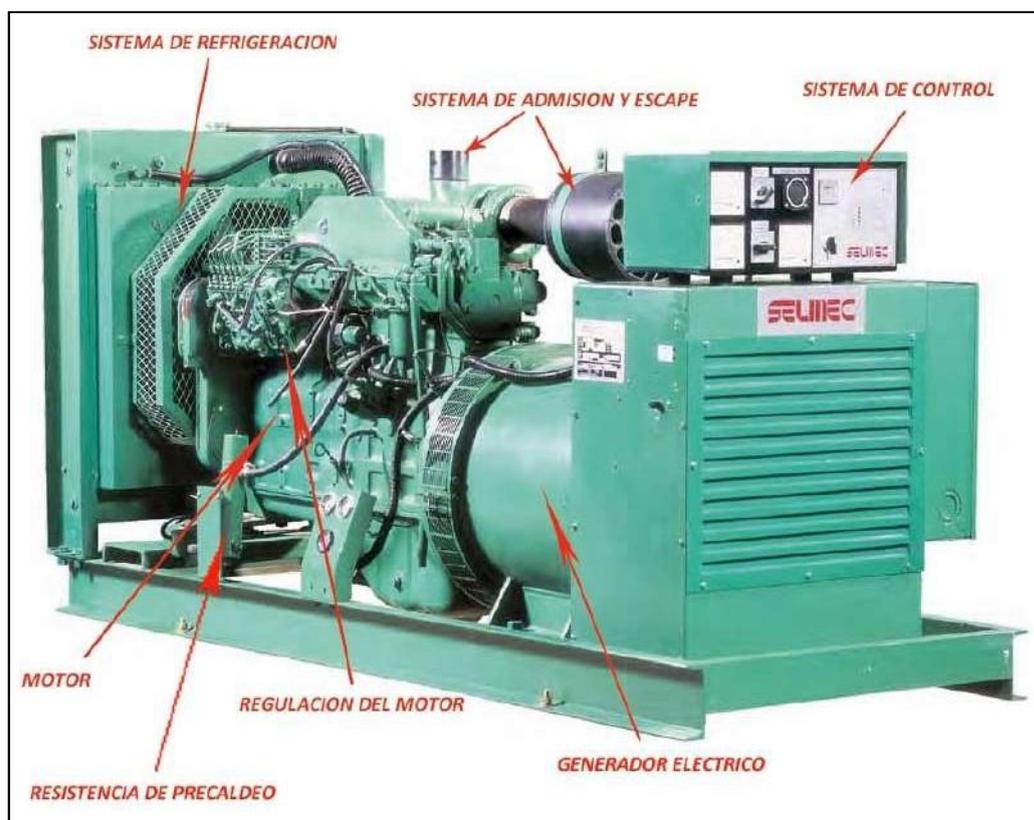


Sistema de control para el grupo electrógeno.

Fuente:  
<http://www.directindustry.es/prod/bernini-design-srl/product-62786-626710.html>

Los componentes de un grupo electrógeno se detallan en la siguiente figura.

Figura 26



Componentes de un grupo electrógeno

### 1.3.10. Costos estimados de inversión

#### a. Costo de inversión para el sistema de extracción de biogás:

La gran mayoría de los vertederos tiene problemas con altos niveles de lixiviación / agua en los pozos, requiriendo la instalación de bombas para el agua. El costo de inversión para el sistema de recolección, incluidas las bombas, varía normalmente entre US \$ 30.000 y US \$ 50.000 por hectárea (Horacio, y otros, 2009 p. 44)

#### b. Inversión de extracción de biogás:

El sistema de la bombeo de gas puede consistir en sopladores o compresores. A menos que el biogás tenga que ser transportado largas distancias a los consumidores, el soplador cuesta relativamente menos en términos de costos de inversión, operación y mantenimiento que un compresor. El gas también tiene que ser drenado para condensar y limpiado para Partículas. Dependiendo del uso final y el contenido de los componentes traza en el biogás, más sistemas costosos pueden ser

necesarios para purificar el biogás. Los costes de inversión de un ventilador, sistema de regulación manual, limpieza normal de gas y sistema de medición y control están normalmente US\$ 75 y US\$ 200 por m<sup>3</sup> de biogás por hora (Horacio, y otros, 2009 p. 44).

c. Costo de antorchas para quemar el biogás excedente:

Se necesita un sistema de quema para destruir el biogás. Por razones medioambientales, se recomienda el uso de las antorchas para quemar el biogás excedente de la extracción, el costo de inversión para una antorcha cerrada, incluyendo los costes de regulación y control, normalmente oscila entre US \$ 40 y US \$ 80 por m<sup>3</sup> (Horacio, y otros, 2009, p. 44).

d. Costo de limpieza de biogás:

En la mayoría de los casos, el costo de la actualización se da como el precio total, incluyendo los costos de inversión, operación y mantenimiento durante 10-15 años. El precio de la limpieza 1 m<sup>3</sup> de biogás está entre US\$ 0,05 y US\$ 0,2 por m<sup>3</sup> de biogás.

La siguiente tabla es un estimado del costo de tecnologías incluyendo costos básicos por el tratamiento de biogás, los costos de operación usando biogás pueden variar dependiendo de mucho factores incluyendo el tipo de equipo de generación de electricidad, para esto influye el tamaño, planta tratamiento del biogás y el sistema interconectado a la red eléctrica (Horacio, y otros, 2009, p. 44).

Tabla N. 6 Costos estimados de inversión por kW instalado.

<b>Tipo de instalación</b>	<b>Costo por kW (US\$)</b>	<b>Costo anual de Operación y Mantenimiento (US\$)</b>
Motor a biogás (>800kW)	1800	180
Motor a biogás (800 kW)	2400	220
Turbina a gas (>3MW)	1800	180
Microturbina (<1MW)	2800	230

Fuente: (U.S. Environmental Protection Agency (E.P.A), 2016 p. 54)

Tabla N. 7 Costos estimados de operación y mantenimiento.

Tipo de instalación	Costos de operación y mantenimiento anuales
Planta de biogás con antorchas	4% a 8% del costo de inversión
Planta de biogás con producción eléctrica	10% a 12% del costo de inversión
Planta con Evaporación de lixiviado	4 US\$ a 10 US\$ / m <sup>3</sup> de lixiviado evaporado
Planta de tratamiento de biogás a gas de alto BTU	17% a 21% del costo de inversión

Fuente: (Horacio, y otros, 2009).

### 1.3.11. Determinar el Costo del kW-h generado.

El costo del kW-h lo determinamos con la siguiente fórmula:

Ecuación 7: cálculo de precio de kW-h generado en la planta.

$$Cst \times kW = \frac{\frac{i + Mt}{(1 + r)^t}}{\frac{E}{(1 + r)^t}}$$

Donde:

t= vida estimada de la instalación.

i= inversión inicial.

Mt=costes de operación y mantenimiento.

E= energía generada durante la vida del sistema.

r= tasa de descuento en Perú es de 11% según el BCR.

### 1.3.11. ¿Qué son los bonos de carbono?

Se ha denominado fenómeno del cambio climático, a las variaciones en el patrón del clima por la intervención humana que ha venido a alterar la composición de la atmósfera. Esta alteración ha modificado el balance que había mostrado la atmósfera en su capacidad de permitir la radiación mediante el ingreso de los rayos solares y la irradiación, con la que se expulsa el calor solar al espacio. La alteración del balance para la radiación y la irradiación atmosférica procede de las modificaciones de los gases de efecto invernadero, los cuales intervienen en esos procesos de atrapar y expulsar el calor solar.

Las concentraciones de dióxido de carbono, metano y clorofluorocarbonos se han incrementado notablemente durante el desarrollo industrial. Las emisiones de tales gases proceden de la utilización de los combustibles fósiles, los cuales en su proceso geológico atrapan carbono y otros componentes en la atmósfera.

En la Cumbre de Kyoto se fijaron metas para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Los países desarrollados deben reducirlas a un nivel de entre 5 y 10 % por debajo de los niveles de 1990, en el periodo 2008 - 2012, son metas muy ambiciosas, que de cualquier manera aceptarían siempre y cuando los países en vías de desarrollo hagan también esfuerzos en la misma dirección.

Argentina lidera la posición de los "esfuerzos voluntarios", en los que cada país en vías de desarrollo establece sus propias metas de reducción. Para esto existe el denominado "Mecanismo de Desarrollo Limpio", en el que los países en vías de desarrollo pueden brindar ventajas a los desarrollados para el cumplimiento de sus metas.

Los mecanismos de flexibilización contemplados en el Protocolo de Kyoto abren la posibilidad del surgimiento del denominado "Mercado Internacional del Carbono", en tanto que permite a los países con compromisos de reducción de emisiones netas de gases de efecto invernadero dar cumplimiento a parte de sus obligaciones a través de la adquisición de reducciones certificadas alcanzadas mediante la implementación de proyectos orientados a este fin en los países en desarrollo.

El uso de un mecanismo de mercado para resolver un tema ambiental tiene un exitoso antecedente en el mercado del dióxido de azufre en Estados Unidos, establecido en 1990 para combatir la lluvia ácida. Este mercado logró reducir a menos de la mitad las emisiones de este gas sin afectar de forma significativa la economía de las empresas que lo emiten. Por medio del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) se oficializa la oferta de reducciones de emisiones certificadas de gases de efecto invernadero.

En los países de Latinoamérica, se podrían aplicar diferentes proyectos para lograr este objetivo, como el uso de sistemas de absorción de contaminantes en procesos productivos (filtros), la sustitución de generación de energía con combustibles fósiles por generación de energía con sistemas hídricos o solares o aumentar la captura de carbono conservando bosques que de otra forma se cortarían o se dedicarían (esas tierras) a otras actividades económicas.

(PULIDO, 2004 p. 40).

Según Julia Justo Directora Ejecutiva del Fondo Nacional del Ambiente (FONAM) el bono de carbono en el Perú se encuentra entre \$12,00 a \$15,00 por tonelada de carbono.

Donde:

1 tonelada de metano equivale a 1400 m<sup>3</sup> del mismo estando a condiciones normales de temperatura y presión (CNTP = 0°C y 1 atm).

1 ton de CO<sub>2</sub> equivale a 509 m<sup>3</sup> de dióxido de carbono también en las mismas condiciones. (WIKIPEDIA, 2016)

#### **1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Es posible diseñar una planta a biogás para la generación de energía eléctrica en Namora – Cajamarca?

#### **1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

Debido al cambio climático y al incremento de residuos sólidos que se está presentando en Cajamarca, es muy importante comenzar a reducir las emisiones de gases efecto invernadero que se generan a causa de la actividad humana. Los rellenos sanitarios emiten gases dañinos a la atmosfera, por ejemplo el metano (CH<sub>4</sub>), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y los compuestos orgánicos volátiles (COV's) son algunos de los principales contaminantes de la atmósfera, ya que el metano y el dióxido de carbono son gases de efecto invernadero, lo cual significa que al incrementarse su concentración en la atmósfera, contribuyen a que la radiación solar permanezca en la superficie terrestre aumentando la temperatura del planeta.

Por lo que se va desarrollar una evaluación para el aprovechamiento de tales emisiones con el fin de generar energía eléctrica y a su vez reducir la contaminación atmosférica generada por los gases producto de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica presente en el relleno sanitario.

Los beneficios del aprovechamiento del biogás entre muchos son principalmente; reducir las emisiones de metano a la atmosfera, ya que este gas es 23 veces más dañino que el dióxido de carbono, el uso de gas combustible puede ser usado para generar energía eléctrica y así transformar el relleno sanitario en un lugar sostenible, reduciendo la quema de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, eliminando así los gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera y contribuyendo con el medio ambiente.

Además se puede comercializar los bonos carbono a países que están comprometidos con el protocolo de Kioto, en la actualidad aún existe desconocimiento del potencial energético de cada relleno sanitario en Perú. La poca difusión de la tecnología para la extracción, control y aprovechamiento de biogás potencia el desinterés por proyectos relacionados, debido al poco compromiso entre los proveedores de tecnología y los operadores de rellenos sanitarios. Los proyectos de biogás tienen claros beneficios ambientales, producto del control de emisiones contaminantes y la sustitución de combustibles fósiles.

## 1.6 HIPÓTESIS

Mediante el diseño de una planta a biogás se puede generar energía eléctrica en Namora – Cajamarca

## 1.7 OBJETIVOS

### 1.7.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una planta a biogás para la generación de energía eléctrica en Namora – Cajamarca.

### 1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el metano contenido en el biogás y su extracción.
- Determinar el potencial energético del metano y la generación de energía eléctrica a partir del potencial energético del metano.
- Determinar costos de inversión
- Determinar el Costo del kW-h generado y cálculo de TIR Y VAN

## II. MÉTODO

### 2.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Diseño de investigación aplicada – no experimental.

### 2.2 VARIABLES, OPERACIONALIZACIÓN

#### 2.2.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Diseño de la planta

#### 2.2.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

Generación de energía eléctrica en kW

2.2.3 Tabla N. 8 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de Medición	Instrumentos
Variable Dependiente: Diseño de la planta	El diseño se define como el proceso previo de configuración mental, “prefiguración”, en la búsqueda de una solución en cualquier campo. Utilizado habitualmente en el contexto de la industria, ingeniería, arquitectura, comunicación y otras disciplinas creativas. Fuente: (wikipedia, 2015)	Calculo estimado de producción de metano en m <sup>3</sup> . Extracción del metano en m <sup>3</sup>	Potencial energético del metano en 1 m <sup>3</sup> .	Kcal kW-h	Modelos matemáticos para cálculo de producción de metano según el IPCC. Tablas de conversión de energías.
Variable Independiente: Generación de energía eléctrica en kW	La generación de energía eléctrica consiste en transformar la energía sea química, cinética, térmica, lumínica, nuclear, solar entre otras, para la generación se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas que ejecutan alguna de las transformaciones citadas Fuente: (wikipedia, 2017)	Cantidad de energía generada en la planta.	Energía eléctrica producida por el grupo electrógeno	W-h kW-h MW-h GW-h	Ecuaciones matemáticas para el cálculo de generación de energía eléctrica a partir del metano.

Fuente: propia.

## 2.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

### 2.3.1. Población:

Para la presente investigación la Población estará compuesta por los residuos sólidos contenidos en el relleno sanitario de Namora – Cajamarca.

### 2.3.2. Muestra:

En este caso la muestra es igual a la población, por tanto serán los residuos sólidos contenidos en el relleno sanitario de Namora – Cajamarca.

## 2.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD.

### 2.4.1 Técnicas de recolección de datos

Observación

Análisis documental

### 2.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Fotografías, planos, libreta de apuntes y croquis.

### 2.4.3. Validez y Confiabilidad

Para dar validez y confiabilidad a la tesis se realizara la asimilación de datos obtenidos en los análisis documentales y datos llenados de la estimación de producción de metano presente en el biogás, los datos obtenidos son de fuentes bibliográficas especializadas en el tema de obtención de biogás de rellenos sanitarios, teniendo en cuenta la extracción y sus usos dependiendo del uso que se quiere dar a la energía potencial del metano.

Mediante este proceso logramos obtener la validez, confianza y la seguridad que nuestros datos logrados tengan la aceptación de nuestro estudio.

## 2.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

En nuestra investigación se utilizara la estadística descriptiva como técnica para el análisis de los datos obtenidos mediante nuestros instrumentos.

Análisis descriptivos, que sirven para narrar el comportamiento en una población o en el interior de subpoblaciones y se limita a la utilización de estadística descriptiva (media, varianza, cálculo de tasas, etc.).

## 2.6 ASPECTOS ÉTICOS

En el presente informe de investigación se considerarán ciertos aspectos éticos como el acatamiento a la propiedad intelectual; el respeto por la convicciones políticas, religiosa y morales; el respeto al medio ambiente la información confidencial por parte de la entidad pública quienes nos brindarán la información requerida.

Además, al aplicar el instrumento de recopilación de datos se procurará evitar herir la susceptibilidad de los individuos que participaran en el estudio; respetando su privacidad y protegiendo su identidad, proporcionándonos resultados honestos y confiables Para la realización del análisis de la producción de electricidad por medio de una planta de generación usando el biogás.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Determinar el metano contenido en el biogás y su extracción.

a. Para determinar la producción de metano contenido en el biogás se trabajara con la siguiente ecuación, dada por el grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

$$Q_{mt} = F.k.lo \sum_{i=1}^n Mi.e^{-k(T-1)}$$

Donde:

$Q_{mt}$ : Generación máxima de metano en el año  $T$  ( $m^3/año$ )

$T$ : años que de funcionamiento del relleno sanitario

$F$  : Volumen de metano en el biogás (%).

$k$  : Constante de generación de metano (año)

$Lo$  : Potencial de generación de metano ( $m^3/ton$ ).

$Mi$  :Cantidad de residuos promedios depositadas al año  $i$  (ton/año).

$n$  : Año inicial de operación.

DATOS:

Para nuestro caso tomaremos los siguientes valores:

- $Mi=$  541324 toneladas acumuladas al año 2017. (Ver anexo 1)
- $F=$  55% para porcentaje se tomara el valor de 0,55.
- $*k=$  0,065 en Cajamarca la precipitación promedio de 840 mm/año(ver tabla anexo 1)
- $n=$  1
- $*Lo=$  84  $m^3/ton$
- $T=$ 8 años

Reemplazando valores en la ecuación:

$$Q_{mt} = F.k.lo \sum_{i=1}^n Mi.e^{-k(T-1)}$$

$$Q_{mt} = 0,5 * 0.065 * 84m^3/ton \sum_{i=1}^1 541324 i.e^{-0.065(8-1)}$$

$$Q_{mt} = 3m^3/ton \sum_{i=1}^1 541324i.e^{-0.455}$$

$$Q_{mt} = 3m^3/ton \sum_{i=1}^1 541324i.0,64$$

$$Q_{mt} = 3m^3/ton * (346448)$$

$$Q_{mt} = 1039344 m^3$$

La generación de metano al año 2017 será de 1039344 m<sup>3</sup>.

b. Calculo de la extracción de metano en un año.

La eficiencia de un sistema de extracción depende de varios factores, los más destacados son el diseño del sistema de extracción y el espesor e integridad del material de cobertura.

Tabla N. 9 Eficiencias promedio de extracción.

Tipo de cobertura	Tipo de sistema de activo de extracción	Eficiencia de extracción promedio [%]
Cobertura diaria	Pozos verticales	67
Cobertura diaria	Trincheras horizontales	75
Cobertura intermedia	Pozos verticales	75
Cobertura intermedia	Trincheras horizontales y pozos verticales	87
Cobertura final	Pozos verticales	87
Cobertura final y geo membrana	Trincheras horizontales o pozos verticales	90

Esto se calcula usando la ecuación

$$Q_{CH_4} = n * Q_{mt}$$

$n$ = eficiencia de extracción.

$Q_{mt}$ = cantidad de metano producido en un año

Reemplazando en la ecuación

$$Q_{CCH_4} = n * Q_{mt}$$

$$Q_{CH_4} = 0,67 * 1039344 m^3/año$$

$$Q_{CH_4} = 696360 m^3/año$$

El metano extraído en un año será de 696360 m<sup>3</sup>/año.

### 3.2. Determinar el potencial energético del metano y la generación de energía eléctrica a partir del potencial energético del metano.

a. Potencial energético del metano en un año, se calcula mediante la ecuación:

$$Pt_{CH_4} = Q_{CH_4} * PCI_{CH_4}$$

$$Pt_{CH_4} = 696360 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$PCI_{CH_4} = 9200 \text{ kcal/m}^3 \text{ (ECHEGARAY, Oscar, 2015)}$$

Reemplazando en la ecuación:

$$Pt_{CH_4} = 696360 \text{ m}^3 * 9200 \text{ kcal/m}^3$$

$$Pt_{CH_4} = \mathbf{6406512000 \text{ kcal/año}}$$

Convirtiendo kcal a kW-h:

Ecuación 8: cálculo para convertir kcal a kW-h

$$kW - h \text{ año} = Pt \left( \frac{kcal}{año} \right) * 0,001163 \text{ kW} - h$$

Donde:

$$Pt \left( \frac{kcal}{año} \right) = \text{Potencial del metano en un año medido en kcal.}$$

$$kcal = 0,001163 \text{ kW} - h$$

Reemplazando se obtiene:

$$\frac{kW}{h} \text{ año} = 6406512000 \frac{kcal}{año} * 0,001163 \text{ kW} - h$$

$$kW - h \text{ año} = \mathbf{7450773 \text{ kW} - \text{año}}$$

El potencial energético contenido del metano es de 7450773 kW-h al año.

Potencial energético del metano en días y horas.

$$P_{\text{dias}} = \frac{7450773 \text{ kW} - \text{año}}{1 \text{ año} \times 365 \text{ día}} \cong \mathbf{20413 \text{ kW/día.}}$$

$$P_{\text{h}} = \frac{20413 \text{ kW} - \text{día}}{1 \text{ día} \times 24 \text{ h}} = \mathbf{850 \text{ kW} - \text{h}}$$

### b. Generación de energía eléctrica a partir del potencial energético del metano.

Para la generación de energía eléctrica se usará un motor de combustión interna el cual convertirá la energía química a energía mecánica, la energía mecánica se convertirá en energía eléctrica mediante un

generador de corriente eléctrica mediante un acople, esta tecnología de conversión logra una eficiencia eléctrica en un rango de 30 % a 40 %. (U.S. Environmental Protection Agency (E.P.A), 2016 p. 36)

\*Eficiencia Eléctrica: 35%

El potencial energético del metano extraído es de 850 kW-h y para su convertir este potencial energético se utilizara un motor de 35 % de eficiencia eléctrica, obteniendo los siguientes valores:

Energía Eléctrica = 850 kW-h x 35% = **297,5 kW-h**

La generación de energía eléctrica es de 297,5 kW-h, para esto su conversión se usara un grupo electrógeno de 300 kW-h.

### 3.3. Costos de inversión

#### a. Costo de la planta de generación eléctrica.

El costo por kW instalado es de 2400 dólares por kW instalado según (U.S. Environmental Protection Agency (E.P.A), 2016).

Tabla N. 10 coste por kW instalado según la tecnología.

Tipo de instalación	Costo por kW en (US\$)	Costo anual de operación y mantenimiento por kW
Motor a biogás (>800kW)	1800	180
Motor a biogás (<800 kW)	2400	220
Turbina a gas (>3MW)	1800	180
Microturbina (<1MW)	2800	230

(U.S. Environmental Protection Agency (E.P.A), 2016).

Se calcula la tasa de cambio a moneda nacional en soles.

Precio Banco de la Nación, 25 de junio del 2017:

Compra: S/. 3,23 Venta: S/. 3,32

US\$ 2400 \* 3,32=7968 soles por kW instalado.

Para calcular el costo de la planta se formula lo siguiente:

Costo por kW instalado x kW producido por el grupo electrógeno.

$$\text{costo de planta} = 7968 \text{ soles} - kW * 300 \text{ kw}$$

$$\text{costo de planta} \approx 2390400 \text{ soles}$$

b. Costos de operación y mantenimiento

El costo de operación y mantenimiento tiene un precio de 220 US\$ por kW instalado según (U.S. Environmental Protection Agency (E.P.A), 2016).

Se convierte a moneda nacional en soles y el costo será:

$$\text{costo de kW en soles} = 220 * 3.32 = 730,4 \text{ soles} - kW$$

$$Mt = 730,4 \text{ soles-kW} * 300 \text{ kW}$$

$$Mt = 219\,120 \text{ soles al año.}$$

c. Costo por la instalación de antorcha para quemar el excedente de biogás.

El coste por m<sup>3</sup> para la quema es de 40 a 80 US\$ según (Horacio, y otros, 2009 p. 44), por lo tanto para nuestra planta instalaremos una antorcha de 250 m<sup>3</sup>/h de biogás. 1 dólar equivale a 3,32 soles.

$$\text{costo de antorcha} = 80 \text{ US\$} * 250 \text{ m}^3/\text{h} * 3,32 \text{ soles}$$

$$\text{costo de antorcha} = 66\,400 \text{ soles.}$$

### 3.4. Determinar el Costo del kW-h generado y cálculo de TIR Y VAN

a. El costo del kW-h lo determinamos con la siguiente fórmula:

$$Cst \times kW = \frac{\frac{i + Mt}{(1 + r)^t}}{\frac{E}{(1 + r)^t}}$$

Donde:

- t = Vida estimada de la instalación
- i = Inversión inicial
- Mt = costes de operación y mantenimiento
- E = Energía generada durante la vida del sistema
- r = Tasa de descuento

t=10 años de vida útil.

i= 2 390 400 soles.

Mt= 219 120 soles al año.

E=300kW-h\* 24 horas \* 365 días\* 10 años E= 26 280 000 kW-h

r= 11% Tasa social de descuento es de (Directiva General del Sistema Nacional de Inversión Pública, 2009 pág. 3).

$$LCOE = \frac{\frac{2390400 + 219120}{(1 + 0.11)^{10}}}{\frac{26280000}{(1 + 0.11)^{10}}}$$

$$LCOE = 0.09 \text{ soles.}$$

El costo por kW-h generado será de **0,9** céntimos de sol.

El precio en barra en Cajamarca es de 15,21 céntimos de sol.

### **b. CÁLCULO DE TIR Y VAN**

En este caso tenemos 4 escenarios que dependen directamente de las horas de operación del grupo electrógeno

Calcular ingresos por la venta de energía y bonos de carbono.

Ingresos por la venta de energía eléctrica.

Por ingresos tenemos 4 escenarios que dependen del tiempo de operación del grupo electrógeno.

- Ingreso anual por venta de energía eléctrica grupo electrógeno operando 8 horas diarias:

$$Ve_{año} = 0,1521 \text{ soles} - kW * 8h * 365 \text{ dias} * 300kW$$

$$Ve_{año} = \mathbf{133239,6 \text{ soles} - año}$$

- Ingreso anual por venta de energía eléctrica grupo electrógeno operando 12 horas diarias:

$$Ve_{año} = 0,1521 \text{ soles} - kW * 12h * 365 \text{ dias} * 300kW$$

$$Ve_{año} = \mathbf{199854,4 \text{ soles} - año}$$

- Ingreso anual por venta de energía eléctrica grupo electrógeno operando 16 horas diarias:

$$Ve_{año} = 0,1521 \text{ soles} - kW * 16h * 365 \text{ dias} * 300kW$$

$$Ve_{año} = \mathbf{266479,2 \text{ soles} - año}$$

- Ingreso anual por venta de energía eléctrica grupo electrógeno operando 24 horas diarias:

$$Ve_{año} = 0,1521 \text{ soles} - kW * 24h * 365 \text{ dias} * 300 kW$$

$$Ve_{año} = \mathbf{399718,8 \text{ soles} - año}$$

### Ingresos por la venta de bonos de carbono

El valor tomado será de UU\$ 15.00, el metano es un gas de efecto invernadero 23 veces más que el dióxido de carbono por lo que significa que una tonelada de metano equivale a 23 toneladas de dióxido de carbono,

1Tn CH<sub>4</sub> = 1400 m<sup>3</sup> de metano

1 Tn CO<sub>2</sub>= 510 m<sup>3</sup> de dióxido de carbono.

Ch<sub>4</sub> extraído= 633 683 m<sup>3</sup> anuales.

Para calcular las toneladas se usa la siguiente ecuación:

$$Tn_{CH_4} = \frac{Q_{CH_4}}{1 Tn * 1400 m^3}$$

Donde:

$Tn_{ch_4}$  = toneladas de metano en un año.

$Q_{ch_4}$  = total de metano extraible en un año.

$$1 Tn_{CH_4} = 1400m^3$$

$$Tn_{CH_4} = \frac{696360m^3}{1 Tn * 1400 m^3}$$

$$Tn_{CH_4} = 497,4 Tn$$

Pero el valor 1 tonelada de metano equivale a 23 veces se calcula mediante:

$$Tn_{CO_2} = 497,4 Tn * 23$$

$$Tn_{CO_2} = 11440,2 Tn$$

Los bonos de carbono por la quema de metano son 11440,2 Tn de CO<sub>2</sub>

✚ Ingreso por la venta de bonos de carbono en dólares.

1Tn CO<sub>2</sub> = UU\$ 15.00

Esto se calcula mediante la ecuación:

$$Pv_{CO_2} = Tn_{CO_2} * UU\$/Tn$$

Donde:

$Pv_{CO_2}$  = venta total de bonos de carbono en UU\$

$\frac{UU\$}{Tn}$  = costo por tonelada de CO<sub>2</sub>

$$Pv_{CO_2} = 11440,2 Tn * 15,00 UU\$/Tn$$

$$Pv_{CO_2} = 171603 UU\$$$

Convirtiendo a la tasa de moneda nacional según el BCR el valor de 1 dólar equivale a 3,32 soles.

✚ Ingreso por la venta de carbono en soles.

$$Pv_{CO_2} = UU\$ * \frac{\text{soles}}{UU\$}$$

$$Pv_{CO_2} = 171603 \text{ UU\$} * 3,32 \frac{\text{soles}}{UU\$}$$

$$Pv_{CO_2} = 569721,9 \text{ soles}$$

El ingreso por la venta de bonos de carbono será de 569721,9 soles al año.

Adicionalmente se instalara una antorcha para la quema del metano excedente del relleno sanitario, generando mayor cantidad de bonos de carbono por la quema de metano y por ende más ingresos para la planta.

## TIR Y VAN ESCENARIO 1.

Grupo electrógeno operando 8 horas al día:

Ingresos por la venta de bonos + venta de energía: 569721,9 – 133 239,6 =  
702961,5 al año

Egresos por mantenimiento y operación: 219 120 soles al año.

Inversión: 2 390 400 soles costo de planta + 66400 soles antorcha

Tasa de interés de préstamo del Banco de Crédito del Perú es de 7,20%

DATOS DE LA INVERSIÓN						
Capital :	2,456,800.00		Tasa :		7.20%	
Cobro inicial:	702,961.50		Inflación cobros:		2.80%	
Pago inicial:	219,120.00		Inflación pagos:		3.50%	
			Años :		10	
<b>Tabla anual</b>						
Años	Inversión	Cobros	Pagos	Flujos Caja	Valor Actual	Acumulado
0	-2,456,800.00			-2,456,800.00	-2,456,800.00	-2,456,800.00
1		702,961.50	219,120.00	483,841.50	451,344.68	-2,005,455.32
2		722,644.42	226,789.20	495,855.22	431,484.62	-1,573,970.70
3		742,878.47	234,726.82	508,151.64	412,485.78	-1,161,484.92
4		763,679.06	242,942.26	520,736.80	394,311.22	-767,173.70
5		785,062.08	251,445.24	533,616.84	376,925.57	-390,248.14
6		807,043.81	260,245.82	546,797.99	360,294.97	-29,953.17
7		829,641.04	269,354.43	560,286.61	344,387.00	314,433.83
8		852,870.99	278,781.83	574,089.16	329,170.62	643,604.45
9		876,751.38	288,539.20	588,212.18	314,616.10	958,220.55
10		901,300.42	298,638.07	602,662.35	300,695.00	1,258,915.55
<b>Análisis de la inversión</b>						
		V.A.N.		1,258,915.55	Valor actual neto	
		T.I.R.		16.89%	Tasa interna rentabilidad	
		V.A.		3,715,715.55	Valor actual	
Otros indicadores:		I.R.		151.24%	Índice de rentabilidad	
		PAYBACK		7	Plazo de recuperación	
		R.C.		3.11	Rendimiento contable	

Los demás escenarios de TIR Y VAN según operación de planta se verán en el anexo 2.

#### **IV. DISCUSIÓN**

En nuestro estudio de generación de energía a partir del metano presente en biogás del relleno sanitario de Cajamarca tenemos como resultado que nuestro potencial energético del metano es de 850 kW-h, por lo tanto la potencia eléctrica generada por la conversión de energías mediante un grupo electrógeno nos da una potencia eléctrica neta de 300 kW-h, en comparación con el estudio realizado por CRISANTO, Anibal (2013, p.54) en su tesis titulada “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTAR UNA CENTRAL ELÉCTRICA APROVECHANDO EL BIOGÁS GENERADO POR EL RELLENO SANITARIO EL INGA” nuestros resultados son similares con la diferencia que su generación de metano es mayor en comparación a nuestro RS de Cajamarca, por lo cual en su estudio su potencia eléctrica neta es de 10584 kW-h en un escenario pesimista; en un escenario optimista es de 16151 kW-h.

En nuestro estudio de generación de energía a partir del metano presente en biogás del relleno sanitario de Cajamarca tenemos como resultado que nuestro potencial energético del metano es de 850 kW-h, por lo tanto la potencia eléctrica generada por la conversión de energías mediante un grupo electrógeno nos da una potencia eléctrica neta de 300 kW-h, en comparación con el estudio realizado por

Pulido Erick en su tesis titulada “ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS CAPTURA Y USO DEL BIOGÁS DE RELLENO SANITARIO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”, siendo la diferencia el tamaño del relleno y mayor recojo de residuos sólidos ya que en el lugar de disposición se deposita hasta 830000 toneladas anuales, y el total depositado desde 1991 hasta 1999 es de 7698057 toneladas de residuos sólidos, con esta cantidad su capacidad de generación de energía eléctrica estará constituida por 7 motogeneradores de combustión interna con capacidad de 1,06 MW-h cada uno. La capacidad total de la central será de 7,42 MW-h, con una producción estimada anual de energía eléctrica de 58 254 GW-h anual y un consumo estimado anual de 36 229 millones de Nm<sup>3</sup> de biogás.

Así mismo nuestro estudio es muy parecido al realizado por ASÍS, G.“et al”, (2012,p.06). En su investigación titulada “PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE BIOGÁS OBTENIDO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS” nos dice:

Los resultados obtenidos en el estudio son los siguientes:

- El potencial energético es de 1125000 kcal-h.
- En kW la potencia es de 1308,37 kW-h, para convertir esta energía química en eléctrica se convierte mediante la eficiencia del motor que es de 35%.

Teniendo un resultado de 457,8 kW-h.

- Para esto se contara con un motor de 500 kW-h.

Nuestro estudio coincide con algunos resultados en cuanto a generación de energía eléctrica mediante grupos electrógenos, nuestro estudio de generación de energía a partir del metano presente en biogás del relleno sanitario de Cajamarca tenemos como resultados:

Potencial energético del metano es de 850 kW-h.

- La potencia eléctrica generada por la conversión de energías mediante un grupo electrógeno nos da una potencia eléctrica neta de 300 kW-h.

Nuestro estudio en cuanto a la generación del metano presente en el biogás hacemos la comparativa con el vertedero Carriel Norte, los resultados obtenidos en su estudio de VALLADARES, Erwin y VILLEGAS Manuel, (2013, p. 01) En su tesis titula “POTENCIAL ENERGÉTICO DEL BIOGÁS GENERADO POR LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS (RSD) EN LA PROVINCIA DE CONCEPCIÓN” son los siguientes:

Vertedero CARRIEL NORTE:

Ubicación Fundo Carriel Norte, Talcahuano.

Superficie 10 hectáreas.

Inicio Operación 1989.

Cierre 2003.

Recepción 87.576 toneladas/año.

Capacidad Máxima Sin dato.

Cobertura Talcahuano y Hualqui.

Al año 2013 su generación de biogás es de 2417845,5 m<sup>3</sup>; generando un flujo volumétrico de 276,0 m<sup>3</sup>/h y generando una potencia eléctrica neta de 1380 kW-h. En este caso el vertedero al ser más antiguo y al tener mayor cantidad de residuos sólidos contenidos, la generación de biogás será mayor a comparación de nuestro relleno sanitario en estudio y por ende la producción de energía eléctrica en nuestro estudio es menor.

En cuanto al estudio realizado por SANCHEZ, Medalith, en su Tesis: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO ORGÁNICO PARA OBTENER PRODUCTOS DERIVADOS DE LOS RESIDUOS GENERADOS POR EL CAMAL MUNICIPAL DE CAJAMARCA, 2016”, nuestros resultados son muy diferentes ya que el enfoque de nuestro estudio es en un relleno sanitario y su estudio de ella trata de proceso de digestión anaeróbica pero con un 100 % de materia orgánica, por lo que su diseño de aprovechamiento es más eficaz en comparación al nuestro ya que la materia orgánica presente en el relleno sanitario tiene un 56 % de materia orgánica.

## **V.CONCLUSIÓN**

Mediante el estudio se determinó que la producción de metano contenido en el biogás en un año es de 1039344 m<sup>3</sup>/año, del cual el metano extraído en un año es de 696360 m<sup>3</sup>/año teniendo en cuenta la eficiencia de los pozos tubulares que es de 67% su producción es óptima para la generación de energía eléctrica.

Mediante el cálculo de potencial de energético contenido del metano contenido biogás es de 7450773 kW-h al año, realizando el cálculo diario es de 20413 kW-día y el potencial energético del metano por hora es de 850 kW-h, con este potencial energético del metano es posible su conversión a energía eléctrica mediante el uso de un grupo electrógeno de 300kW-h.

Según el cálculo de generación de energía eléctrica a partir del biogás se determinó los costos de inversión la planta de generación eléctrica es de 2456800 soles y los costos de mantenimiento y operación es de 219120 soles al año.

El precio por kW-h generado en nuestra planta tiene un costo de 0,9 céntimos de sol, mientras que el precio en barra en Cajamarca que es de 15,21 céntimos de sol, además EL VAN Y EL TIR son muy favorables para la implementación de este modelo de desarrollo limpio

Por todo lo anterior mencionado se concluye que el proyecto técnicamente es factible por la alta rentabilidad de la planta eléctrica a biogás, teniendo beneficios:

En el ámbito social beneficiara a la población ante el crecimiento de la demanda de energía eléctrica en nuestra ciudad

Además de ser ambientalmente viable por la mejora de calidad de vida de los pueblos aledaños eliminando los olores putrefactos y emisión de gases de efecto invernadero.

Desde el punto de vista económico requiere una adecuada gestión técnico – administrativa para que pueda ser implementado con éxito y alcanzar expectativas de generación eléctrica.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Implementar un biodigestor para generar mayor cantidad de biogás ya que estos son más eficientes con una producción de hasta 70% de metano y por ende mayor cantidad de potencial
- Desarrollar más proyectos para la generación de energía eléctrica a partir de un modelo de desarrollo limpio (MDL) en el Perú para incrementar la matriz energética de energía eléctrica nacional.
- Aprovechar el biogás, generado producto de aguas negras.
- Se recomienda capacitar a la población para lograr una adecuada selección de residuos sólidos ya sean orgánicos, plásticos, cartones, residuos peligrosos, etc.;
- Se recomienda implementar biodigestores en los rellenos sanitarios para mejorar la producción de biogás ya que un biodigestor es más eficiente alcanzando valores máximos de generación de biogás hasta el 70% de volumen de metano en el biogás.

- Impulsar el desarrollo de estas tecnologías en otras provincias de Cajamarca o del país ya que es una energía renovable y barata.
- Dar a conocer a la población esta tecnología de producción de energía eléctrica e indicar sus beneficios.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO, Leandro. Construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado. Lima: MINAM, 2008. 137 pp.

ISBN 2987-26-3900-46.

ALVAREZ, Daniel. La Producción de Basura en Lima. Lima, Perú : [s.n.], 2012.

ARRIAZA, Daniel, Modelo para el diseño de sistemas de captación y aprovechamiento de biogás producido en rellenos sanitarios. Santiago : [s.n.], 2016.

ASIS, Hernán; DOPAZO, Fabián y GIANOGLIO, Paulo. Producción de Electricidad a partir de Biogás obtenido de Residuos Sólidos Urbanos. Córdoba, Argentina: [s.n.], 2012. 72 pp.

ISBN 4354-27-4554-11.

CALDERON, Fernando. El problema de la basura en el mundo. México: [s.n.], 2011. 89 pp.

ISBN 3574-12-3988-36.

CRISANTO, Aníbal. Estudio de factibilidad para implementar una central eléctrica aprovechando el biogás generado por el relleno sanitario EL INGA. Quito, Ecuador: [s.n.], 2013. 104 pp.

CONESTOGA - ROVERS AND ASSOCIATES. Landfill Gas Management Facilities Design Guidelines. Estados Unidos: British Columbia Ministry of Environment, 2010. 203 pp.

CONESTONGA, Rovers. Manual para la generación de proyectos de generación de energía a partir del gas de rellenos sanitarios en América Latina y el Caribe. [s.l.]:[s.n.] 2004. 218 pp. ISBN:19399.

DAVILA, José Luis. Biogás de Rellenos Sanitarios - Generalidades. Guadalajara, México: [s.n.], 2009. 76 pp.

ISBN 6548-34-2987-36.

DIGESA. opinion tecnica favorable del proyecto de infraestructura de tratamiento y relleno sanitario de cajamarca. cajamarca : ministerio de salud- direccion general de salud ambiental, 2009. 10 pp.

Directiva General del Sistema Nacional de Inversión Pública. ANEXO SNIP 09: PARAMETROS DE EVALUACION. LIMA : [s.n.], 2009. 9 pp.

ECHEGARAY, Oscar. El gas natural y sus diferencias con el glp. LIMA : OSINERMIN, 2015. 16 pp.

FERRERO, Juan Carlos, BARGELIA, Martha y FERNANDEZ, Guillermo. Producción de Biogás a partir de Desechos Sólidos Urbanos, Influencia de Inhibidores Orgánicos. Lima, Perú: [s.n.], 2005. 82 pp.

ISBN 6587-13-2654-22.

FRERS, Cristian. Los Problemas de la Basura y una Posible Solución. Buenos Aires, Argentina: [s.n.], 2005. 76 pp.

ISBN 6534-12-8889-20.

Global Methane Initiative. vision general del sistema de captura y control de biogas.[s.l]: [s.n.] 2009. 39 pp.

Global Methane Initiative. Emisiones Mundiales de Metano y oportunidades de atenuación. [s.l]:[s.n], 2010. 5 pp.

GUILLÉN, Rossy y RIVAS, Olga. Producción de Metano a partir de desechos orgánicos generados en el Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica : [s.n.], 2011. 73 pp.

ISBN 2765-24-3322-99.

HAMID, Amini; DEBRA, Reinhart y ANTTI, Niskanen. Comparison of first-order-decay modeled and actual field measured municipal solid waste landfill methane data. Orlando: USA. 2013. 2720 – 2728 pp.

INEI. Anuario de Estadísticas Ambientales, cap.5. Perú: Residuos Sólidos. Lima, Perú : [s.n.], 2013. 277- 308 pp.

INFORECICLAJE. <http://www.inforeciclaje.com>. [En línea] INFORECICLAJE, 2017. [Citado el: 15 de abril de 2017.] <http://www.inforeciclaje.com/residuos-solidos.php>.

INSTITUTO CUANTO. La Producción de Basura en Lima. <http://www.cuanto.org>. [En línea] INSTITUTO CUANTO, 2017. [Citado el: 1 de abril de 2017.] <http://www.cuanto.org/index.php?modulo=183>.

INEI. Día mundial de la población. LIMA : INEI, 2015. 56 pp.

MINAM, Ministerio del Ambiente. Problemática de los residuos sólidos en el Perú. Lima, Perú : [s.n.], 2013. 52 pp.

PANESSO, A. "et al". Estudio del biogas captado en un relleno sanitario para su posible utilización como combustible primario en la generación de energía eléctrica. PEREIRA : [s.n.], 2012. 14 pp.

PETRAMÁS. La Central Térmica de Biomasa Huaycoloro de Petramás. Lima, Perú : [s.n.], 2010. 16 pp.

PULIDO, Erick. Análisis de la implementación de proyectos de captura y uso del biogás de rellenos sanitarios para la generación de energía eléctrica. Monterrey: [s.n.], 2004. 117 pp.

RIOS, Albina. Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGARS-Cajamarca). Cajamarca : [s.n.], 2004. 78 pp.

SANCHEZ, Medalith. Diseño de un sistema de aprovechamiento orgánico para obtener productos derivados de los residuos generados por el camal municipal de Cajamarca, 2016. Cajamarca: [s.n.], 2016. 91 pp.

U.S. Environmental Protection Agency (E.P.A). LFG ENERGY PROJECT DEVELOPMENT HANDBOOK. WASHINGTON : U.S. Environmental Protection Agency, 2016. 94 pp.

TERRAZA, Horacio y WILLLUSEN, Hans. guidance note on landfill gas capture and utilization. [s.l.] : IDB water and sanitation initiative, 2009. 68 pp.

ISBN 7647-77-1865-98.

VASUDEVAN, Rajaram,"et al". From Landfill Gas to Energy Technologies and Challenges. From Landfill Gas to Energy Technologies and Challenges. London, UK : CRC Press, 2012. 70 pp.

wikipedia. es.wikipedia.org. [En línea] wikipedia, 2017. [Citado el: 25 de abril de 2017.]

WIKIPEDIA. es.wikipedia.org. [En línea] 2017. [Citado el: 28 de abril de 2017.]  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Grupo\\_electr%C3%B3geno](https://es.wikipedia.org/wiki/Grupo_electr%C3%B3geno).

wikipedia. wikipedia. es.wikipedia.org. [En línea] 7 de octubre de 2015. [Citado el: abril de 20 de 2017.] <https://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o>.

ZUZUNAGA, Belén. Tratamiento Térmico de los Residuos Sólidos para Lima y Callao. Lima, Perú : [s.n.], 2008.

## ANEXOS

### ANEXO 1

Determinar Mi: cantidad de residuos sólidos depositados desde el 2009 – 2017.

El cálculo se basa en los criterios de la producción de basura diaria y anual de la ciudad de Cajamarca.

Teniendo en cuenta esto procedemos a calcular la cantidad de basura depositada en el relleno.

- ✓ En Cajamarca la producción per cápita de residuos sólidos es de 0,7 kg/hab. (DIGESA, 2009).
- ✓ Además la tasa de crecimiento poblacional para Cajamarca es de 3,32% en el 2015, con este dato se calculara la proyección para el año 2016 y 2017, (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA, 2015 p. 9).

Tabla N. 11 cálculo de producción de basura desde la puesta en funcionamiento del relleno sanitario de Cajamarca desde el 2009 hasta el 2017.

Año	Habitantes tasa de crecimiento 3, 32	Cantidad de basura por hab.	Basura producida en un día en kg.	Total de basura por año en Ton.
2009	210800	0.7	147560	53859
2010	216757	0.7	151730	55381
2011	222725	0.7	155908	56906
2012	228691	0.7	160084	58431
2013	234667	0.7	164267	59957
2014	240614	0.7	168430	61477
2015	246536	0.7	172575	62990
2016	254721	0.7	178305	65081
2017	263178	0.7	184224	67242
total de basura				<b>541325</b>

Fuente: propia

\*Valores calculados con proyección de 3,32 % de crecimiento poblacional en Cajamarca al año 2015 según INEI.

El total de RSU al año 2017 es de 541325 toneladas.

Índices de generación de metano  $k$  y  $L_0$

<b>Precipitación anual (mm/año)</b>	<b><math>k</math> (año<sup>-1</sup>)</b>	<b><math>L_0</math> m<sup>3</sup>/Ton)</b>
0-249	0.040	60
250-499	0.050	80
500-999	0.065	84
≥ 1000	0.080	84

## ANEXO 2

TIR Y VAN escenario de acuerdo a las horas de operación del grupo electrógeno

**Escenario 2:** 12 horas diarias de operación de la planta

Grupo electrógeno funcionando 12 horas al día:

Ingresos por la venta de bonos + venta de energía: 569721,9 + 199854,4 = 769576,3 al año

Egresos por mantenimiento y operación: 219120 soles al año.

Inversión: 2 390400 soles costo de planta.

Tasa de interés de préstamo del Banco de Crédito del Perú es de 7,20%

DATOS DE LA INVERSIÓN						
Capital :	2,456,800.00		Tasa :		7.20%	
Cobro inicial:	769,576.30		Inflación cobros:		2.80%	
Pago inicial:	219,120.00		Inflación pagos:		3.50%	
			Años :		10	
<b>Tabla anual</b>						
Años	Inversión	Cobros	Pagos	Flujos Caja	Valor Actual	Acumulado
0	-2,456,800.00			-2,456,800.00	-2,456,800.00	-2,456,800.00
1		769,576.30	219,120.00	550,456.30	513,485.35	-1,943,314.65
2		791,124.44	226,789.20	564,335.24	491,074.74	-1,452,239.90
3		813,275.92	234,726.82	578,549.10	469,630.04	-982,609.87
4		836,047.65	242,942.26	593,105.39	449,110.00	-533,499.87
5		859,456.98	251,445.24	608,011.74	429,475.15	-104,024.72
6		883,521.78	260,245.82	623,275.95	410,687.67	306,662.95
7		908,260.39	269,354.43	638,905.96	392,711.34	699,374.29
8		933,691.68	278,781.83	654,909.84	375,511.49	1,074,885.78
9		959,835.04	288,539.20	671,295.85	359,054.93	1,433,940.71
10		986,710.42	298,638.07	688,072.36	343,309.84	1,777,250.55
<b>Análisis de la inversión</b>						
		<b>V.A.N.</b>		<b>1,777,250.55</b>	Valor actual neto	
		<b>T.I.R.</b>		<b>20.45%</b>	Tasa interna rentabilidad	
		<b>V.A.</b>		<b>4,234,050.55</b>	Valor actual	
Otros indicadores:		<b>I.R.</b>		<b>172.34%</b>	Índice de rentabilidad	
		<b>PAYBACK</b>		<b>6</b>	Plazo de recuperación	
		<b>R.C.</b>		<b>3.40</b>	Rendimiento contable	

### TIR Y VAN **escenario 3**

16 HORAS DIARIAS DE OPERACION DE LA PLANTA

Grupo electrógeno funcionando 8 horas al día:

Ingresos por la venta de bonos + venta de energía: 569721,9 + 266479,2 =  
836201,1 al año

Egresos por mantenimiento y operación: 219120 soles al año.

Inversión: 2 390400 soles costo de planta.

Tasa de interés de préstamo del Banco de Crédito del Perú es de 7,20%

DATOS DE LA INVERSIÓN						
Capital :	2,456,800.00		Tasa :		7.20%	
Cobro inicial:	836,201.10		Inflación cobros:		2.80%	
Pago inicial:	219,120.00		Inflación pagos:		3.50%	
			Años :		10	
<b>Tabla anual</b>						
Años	Inversión	Cobros	Pagos	Flujos Caja	Valor Actual	Acumulado
0	-2,456,800.00			-2,456,800.00	-2,456,800.00	-2,456,800.00
1		836,201.10	219,120.00	617,081.10	575,635.35	-1,881,164.65
2		859,614.73	226,789.20	632,825.53	550,673.81	-1,330,490.84
3		883,683.94	234,726.82	648,957.12	526,782.87	-803,707.96
4		908,427.09	242,942.26	665,484.83	503,917.01	-299,790.95
5		933,863.05	251,445.24	682,417.81	482,032.62	182,241.67
6		960,011.22	260,245.82	699,765.39	461,087.93	643,329.59
7		986,891.53	269,354.43	717,537.10	441,042.93	1,084,372.52
8		1,014,524.49	278,781.83	735,742.66	421,859.33	1,506,231.85
9		1,042,931.18	288,539.20	754,391.98	403,500.43	1,909,732.28
10		1,072,133.25	298,638.07	773,495.19	385,931.09	2,295,663.36
<b>Análisis de la inversión</b>						
		V.A.N.		2,295,663.36	Valor actual neto	
		T.I.R.		23.86%	Tasa interna rentabilidad	
		V.A.		4,752,463.36	Valor actual	
Otros indicadores:		I.R.		193.44%	Índice de rentabilidad	
		PAYBACK		5	Plazo de recuperación	
		R.C.		3.69	Rendimiento contable	

## TIR Y VAN **escenario 4**

24 horas diarias de operación de la planta

Grupo electrógeno funcionando 24 horas al día:

Ingresos por la venta de bonos + venta de energía: 569721,9 + 399718,8 =  
969440,7 al año

Egresos por mantenimiento y operación: 219120 soles al año.

Inversión: 2 390400 soles costo de planta.

Tasa de interés de préstamo del Banco de Crédito del Perú es de 7,20%

DATOS DE LA INVERSIÓN						
Capital :	2,456,800.00		Tasa :		7.20%	
Cobro inicial:	969,440.70		Inflación cobros:		2.80%	
Pago inicial:	219,120.00		Inflación pagos:		3.50%	
			Años :		10	
<b>Tabla anual</b>						
Años	Inversión	Cobros	Pagos	Flujos Caja	Valor Actual	Acumulado
0	-2,456,800.00			-2,456,800.00	-2,456,800.00	-2,456,800.00
1		969,440.70	219,120.00	750,320.70	699,926.03	-1,756,873.97
2		996,585.04	226,789.20	769,795.84	669,863.00	-1,087,010.98
3		1,024,489.42	234,726.82	789,762.60	641,079.97	-445,931.01
4		1,053,175.12	242,942.26	810,232.86	613,522.81	167,591.80
5		1,082,664.03	251,445.24	831,218.79	587,139.67	754,731.47
6		1,112,978.62	260,245.82	852,732.80	561,880.88	1,316,612.35
7		1,144,142.02	269,354.43	874,787.60	537,698.86	1,854,311.22
8		1,176,178.00	278,781.83	897,396.17	514,548.04	2,368,859.25
9		1,209,110.98	288,539.20	920,571.79	492,384.75	2,861,244.00
10		1,242,966.09	298,638.07	944,328.02	471,167.17	3,332,411.17
<b>Análisis de la inversión</b>						
		V.A.N.		3,332,411.17	Valor actual neto	
		T.I.R.		30.35%	Tasa interna rentabilidad	
		V.A.		5,789,211.17	Valor actual	
Otros indicadores:		.R.		235.64%	Índice de rentabilidad	
		PAYBACK		4	Plazo de recuperación	
		R.C.		4.28	Rendimiento contable	

### ANEXO 3

Tabla N. 12 Costos estimado de la planta de biogás.

<b>Componentes</b>	<b>Inversión en soles</b>
Gestión y transporte de materiales	60000
Excavación	160000
Pozos de extracción vertical	80000
Cabezales de pozo	10000
Planta de limpieza de biogás	750000
Obras civiles	250000
Sopladores 250 m <sup>3</sup> /h	15000
Cárcamos de condensado con bombeo	15000
Ingeniería y administración	100000
Antorchas de llama abierta	66400
Grupo electrógeno	200000
Tuberías HDPE	200000
Accesorios de tubería	50000
Instrumentos de medición	50000
Mano de obra calificada	250000
Costos por imprevistos	200000
<b>TOTAL</b>	<b>2456400</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla N. 13 Costos de operación y mantenimiento

<b>Componentes</b>	<b>Costo en soles al año</b>
<b>Sistema de extracción</b>	
Operación y mantenimiento de ductos y pozos	50000
Operación y mantenimiento de antorcha	25000
<b>Sistema de limpieza de biogás</b>	
Operación y mantenimiento de planta de limpieza de biogás.	80000
<b>Proyecto de generación de energía eléctrica</b>	
Operación y mantenimiento del grupo	55000
Costos por imprevistos	10000
<b>TOTAL</b>	<b>220000</b>

Fuente: elaboración propia.

## ANEXO 4

Figura 27



Ubicación del relleno sanitario de Cajamarca mediante vista satelital  
Fuente: google maps 2017

Figura 28



Vista satelital del relleno sanitario ubicado en Namora – Cajamarca .  
Fuente: google maps 2017

Figura 29

## Plantas de Enriquecimiento de Biogás (Upgrading)

Planta de transformación de Biogás a Biometano

Dimasa Grupo suministra una tecnología especial que permite la purificación del biogás para transformarlo en biometano. El gas biometano es una atractiva alternativa a los combustibles fósiles. Se puede mezclar con el gas natural y se inyecta directamente a los gasoductos convencionales. **O utilizarlo como biocombustible para medios de transporte.**



Planta de Enriquecimiento de Biogás

**Aumento de la calidad del Biogás hasta el 98% de pureza.  
(Calidad de Gas Natural)**

### Fuentes de aplicación:

**Depuradoras:** Biogás producido en el digestor de lodos.

**Agricultura:** Digestores de residuos sólidos orgánicos.

**Ganadería:** Digestores de purines y residuos animales.

**Vertederos:** Producción del Biogás por el sellado del vertedero.

### Beneficios

- **No contamina el medio ambiente ni genera costes adicionales** ya que no genera aguas residuales ni se usan productos químicos en el proceso.
- Unidades móviles de **fácil transporte y montaje, que reducen su mantenimiento.**
- **Montaje en módulos** (contenedor).
- **Rápida instalación y puesta en marcha.**

Planta de enriquecimiento de biogás.

Figura 30

**Biogás:** es una mezcla de gases, formado principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ),  $\text{CO}_2$ , vapor de agua y trazas de otros componentes ( $\text{H}_2\text{S}$ , siloxanos,  $\text{NH}_3$ , hidrocarburos y otros).  
 Para un uso adecuado se requiere reducir su contenido de humedad y separar de él todos los compuestos perjudiciales en la vida útil de los equipos involucrados en su aprovechamiento como biocombustible.  
 El módulo de limpieza de Dimasa Grupo garantiza la reducción de tales componentes (vapor de agua, partículas,  $\text{H}_2\text{S}$ , siloxanos y COV's).

**Acondicionamiento:** Obtención del grado de limpieza, humedad, temperatura y presión requerida para la futura aplicación del biogás.

**Limpieza:** Eliminación parcial o total de los componentes indeseables para su aplicación como biocombustible.

**El innovador sistema de limpieza y acondicionamiento de Biogás de Dimasa Grupo:**

Tiene como objetivo eliminar compuestos indeseables tales como: siloxanos,  $\text{H}_2\text{S}$ , COV's, humedad, compuestos halogenados,  $\text{NH}_3$  y partículas.

Este novedoso proceso está compuesto de las siguientes etapas:

- Enfriamiento previo hasta 25 °C. Mediante recuperador energético para la reducción de la energía requerida.
- Enfriamiento hasta 2-4 °C para la reducción del nivel de humedad, parte de los siloxanos y COV's.
- Lavado del gas para la reducción de gases ácidos ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).
- Post-enfriamiento del biogás para acondicionarlo para su uso.
- Absorción en carbón activado para la eliminación completa de siloxanos y compuestos halogenados.



**Las Ventajas**

- Reducción de los costes de operación.
- Reducción de los contaminantes emitidos.
- Fácil instalación, operatividad y mantenimiento.
- Equipo compacto y de tecnología de última generación.
- Sistema modular en base a las necesidades del cliente.
- Apto para todos los tipos de Biogás.
- Operación continua y estable desde su puesta en marcha.
- Reducción simultanea de temperatura, humedad,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ , hidrocarburos halogenados, siloxanos y COV's .
- Garantía de calidad del Biogás en su uso para motores.
- Posibilidad de trabajo en aspiración o impulsión.
- Sistema de separación de partículas y gotas integrado.

**Casos de Éxito**



Sistema de limpieza y acondicionamiento del biogás

Figura 31



Nuestras plantas de enriquecimiento de Biogás son capaces de tratar elevados caudales de gas.

Las plantas de enriquecimiento de Dimasa Grupo consumen como media € 0.01 / kWh.

Cumple con las normas Internacionales para la regulación ambiental.

El proceso de enriquecimiento de biogás es muy sencillo:

1. **COMPRESIÓN:** El biogás crudo primero se comprime.
2. **CONDENSACIÓN:** Después se produce la condensación del contenido en el sistema de intercambio.
3. **ELIMINACIÓN:** Seguidamente se eliminan a través de un material adsorbente específico los contaminantes: sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ),  $CO_2$ ,  $H_2O$ , y los Siloxanos. Y finalmente se elimina el  $NH_3$  y los olores. También se eliminan parcialmente el oxígeno y el nitrógeno, obteniendo así el gas biometano.

**TIPOS DE PLANTA**

	PSA250	PSA500	PSA750	PSA1000	PSA1200	PSA1400
Caudal Biogás	250	500	750	1000	1200	1400
Caudal biometano producido	125	260	390	520	624	728
Consumo eléctrico	60	120	180	240	290	340
Dimensiones	21x6	21x6	24x6	24x6	24x6	24x6

La integración de esta tecnología aumenta el rendimiento de gas metano y mejora la eficiencia global de la planta de enriquecimiento por lo que se obtiene biometano con calidad para automoción y/o inyección a la red de gas natural.



Proceso de enriquecimiento del biogás

## ANEXO 6

Figura 32



Antorchas para quemar biogás en caso que nuestro motor no esté en operación y para quemar el excedente de biogás, caudal de 250 m<sup>3</sup>/h el biogás.

## ANEXO 7 Grupo electrógeno marca CAMDA de 300kW

**Tabla N. 14** Datos del grupo electrógeno para generar electricidad a partir del metano contenido en el biogás del relleno sanitario de Cajamarca.

Grupo electrógeno marca CAMDA de 300kW

### Datos Básicos

Corriente clasificada:	570 A	Lugar del origen:	China (Continental)	Marca:	CAMDA
Número de Modelo:	KDGH300-G	Voltaje clasificado:	220/480 V	Energía clasificada:	300kW
Velocidad:	1800 rpm	Tipo de la salida:	Fase de la CA 3	Frecuencia:	60Hz
tipo de motor:	CAMDA gas motor de base	alternador:	Leroy Somer	controlador:	Comap/Deepsea
combustible:	Gas Natural/Biogás	Consumo en kW-h:	750	aspiración	Turboalimentado
Temperatura en los gases de escape:	600°C	relación de compresión:	11:1	Eficiencia eléctrica:	35%
aceite	15W40	Capacidad de Carter	87 litros	Capacidad de refrigerante	115 litros

Mantenimiento recomendado para alargar la vida útil de la planta

Para mantener en óptimo rango de funcionamiento se la planta de tratamiento de biogás es necesario evaluar diariamente la temperatura de salida del biogás, el flujo volumétrico, verificar los cárcamos de condensado, cambiar el filtro de carbón activado cada 500 horas de operación.

Mantenimiento preventivo en nuestro grupo electrógeno.

Cada 10 Horas o Diariamente verifique y reajuste:

- Cantidad de refrigerante/antioxidante en el radiador
- Nivel y presión de aceite del motor
- Nivel de aceite en Bomba de inyección
- Banda de ventilador y alternador
- Revise nivel de aceite
- Reajuste pernos de sujeción.

Cada 50 Horas:

- Chequear nivel de agua o ácido de batería.

Cada 250 Horas:

- Cambio de aceite del motor.
- Cambio de filtros de aceite y diésel, incluidos filtros del turbo y separador de agua.
- Limpie filtro de aire (en ambientes con mucho polvo cambie el filtro de aire).
- Reajuste completo de tuercas del motor, chasis y anclaje
- Limpiar cámara y malla de filtración y sedimentos de bomba de inyección.

Cada 500 Horas:

- Cambie Filtro de aire.

Cada 1000 Horas:

- realizar calibrado de válvulas de verificar motor de arranque, alternador, batería, turbo, bomba de agua, bomba de aceite, empaques, radiador etc.

Fotos del motor para nuestra planta de generación de energía eléctrica

Figura 33



Grupo electrógeno CAMDA

Fuente:  
<http://www.camdagenerator.com>

Fuente:  
<http://www.camdagenerator.com>



Figura 34

Grupo electrógeno CAMDA

Fuente:  
<http://www.camdagenerator.com>

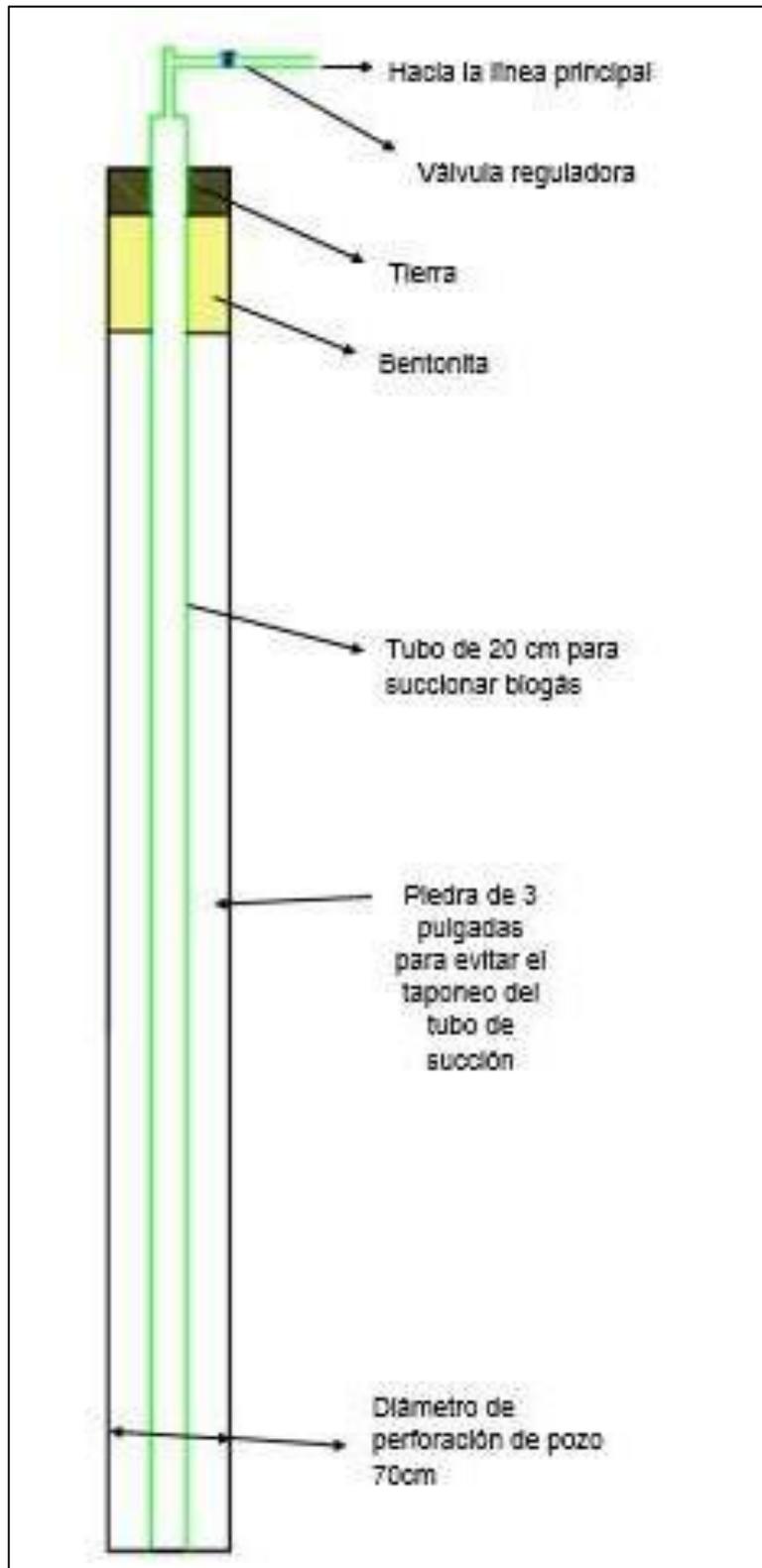


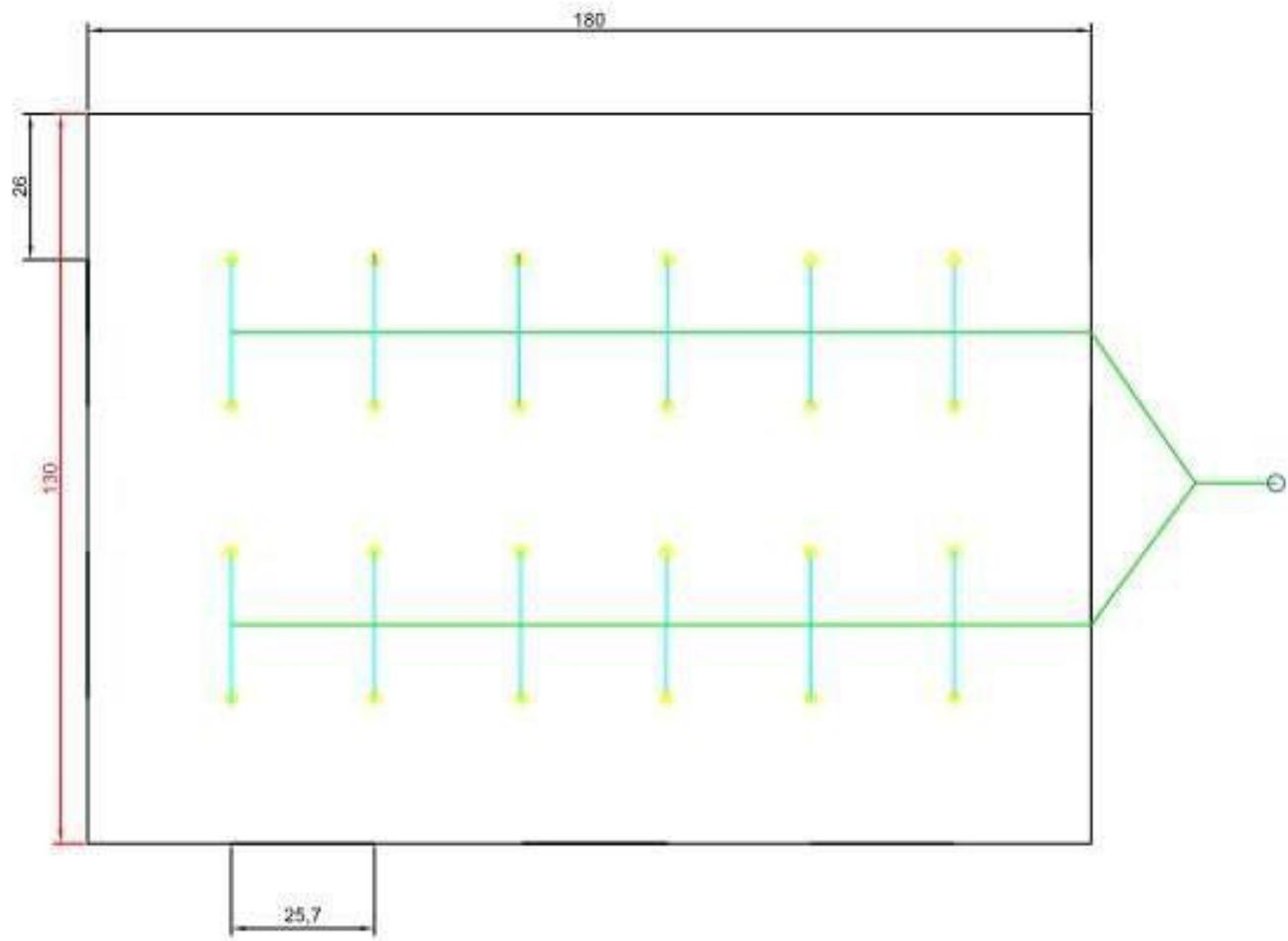
Figura 35

Grupo electrógeno CAMDA

## ANEXO 8

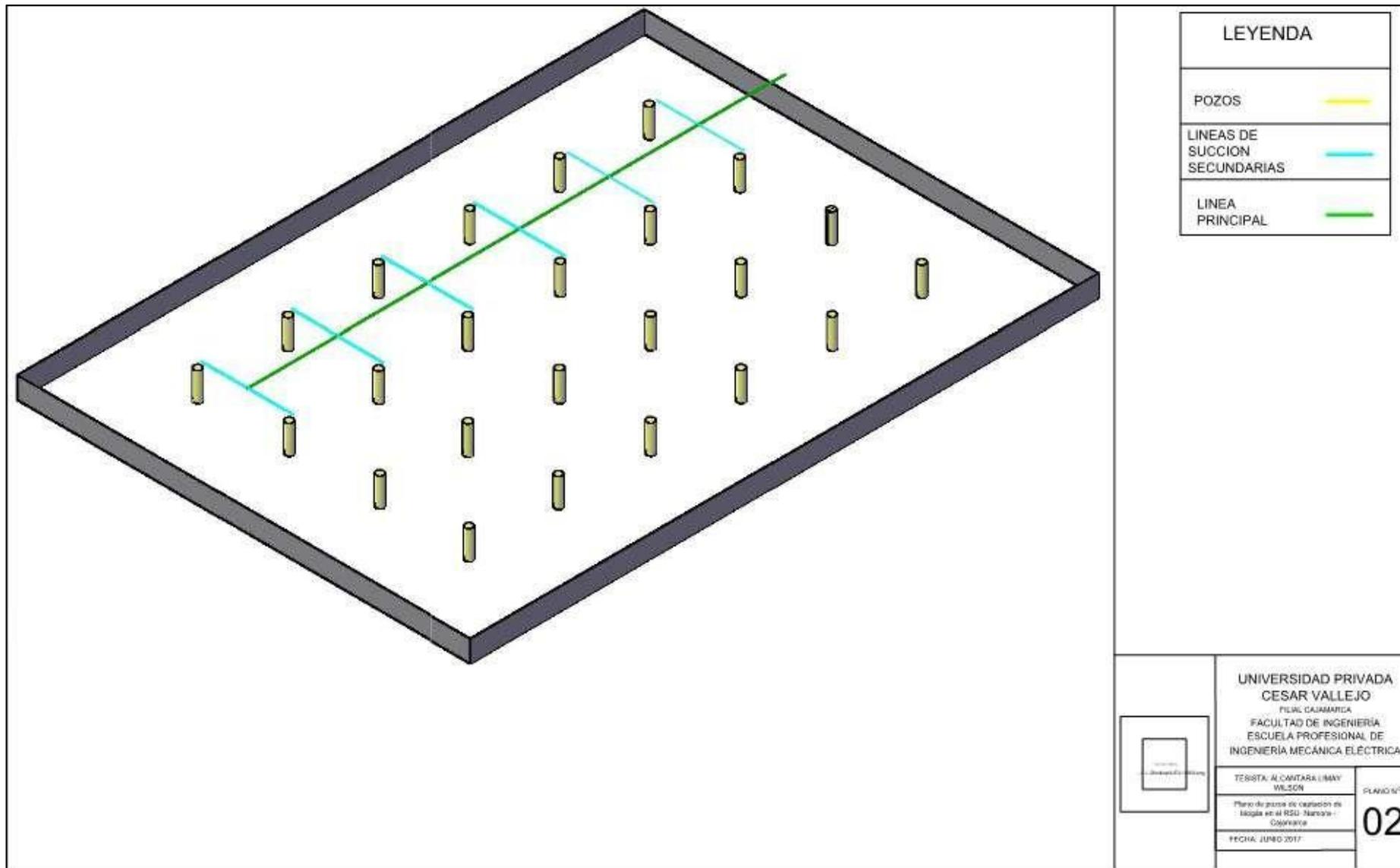
### Croquis y planos de planta a biogás



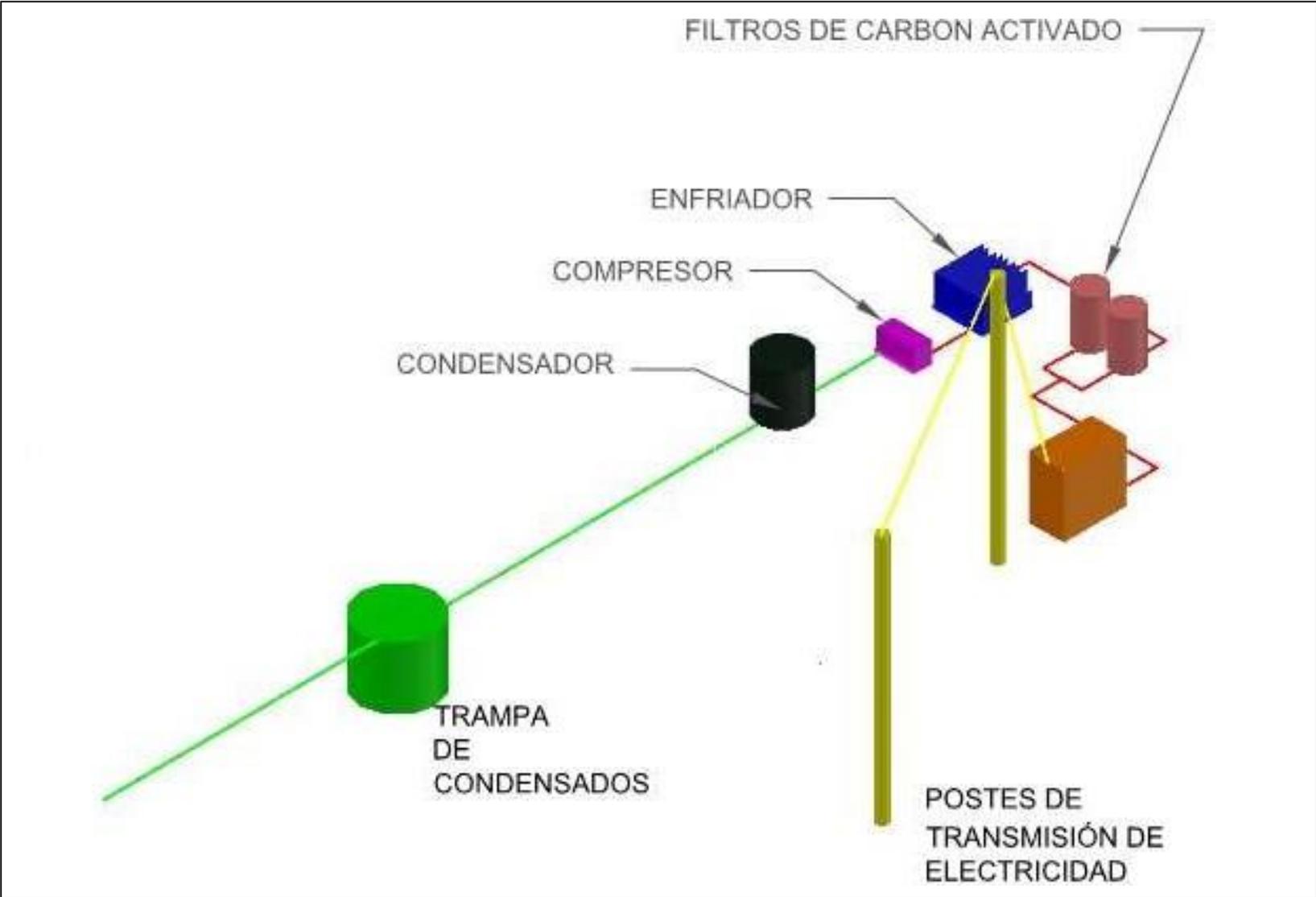


LEYENDA	
POZOS	
LINEAS DE SUCCION SECUNDARIAS	
LINEA PRINCIPAL	
TRAMPA DE CONDENSADO	

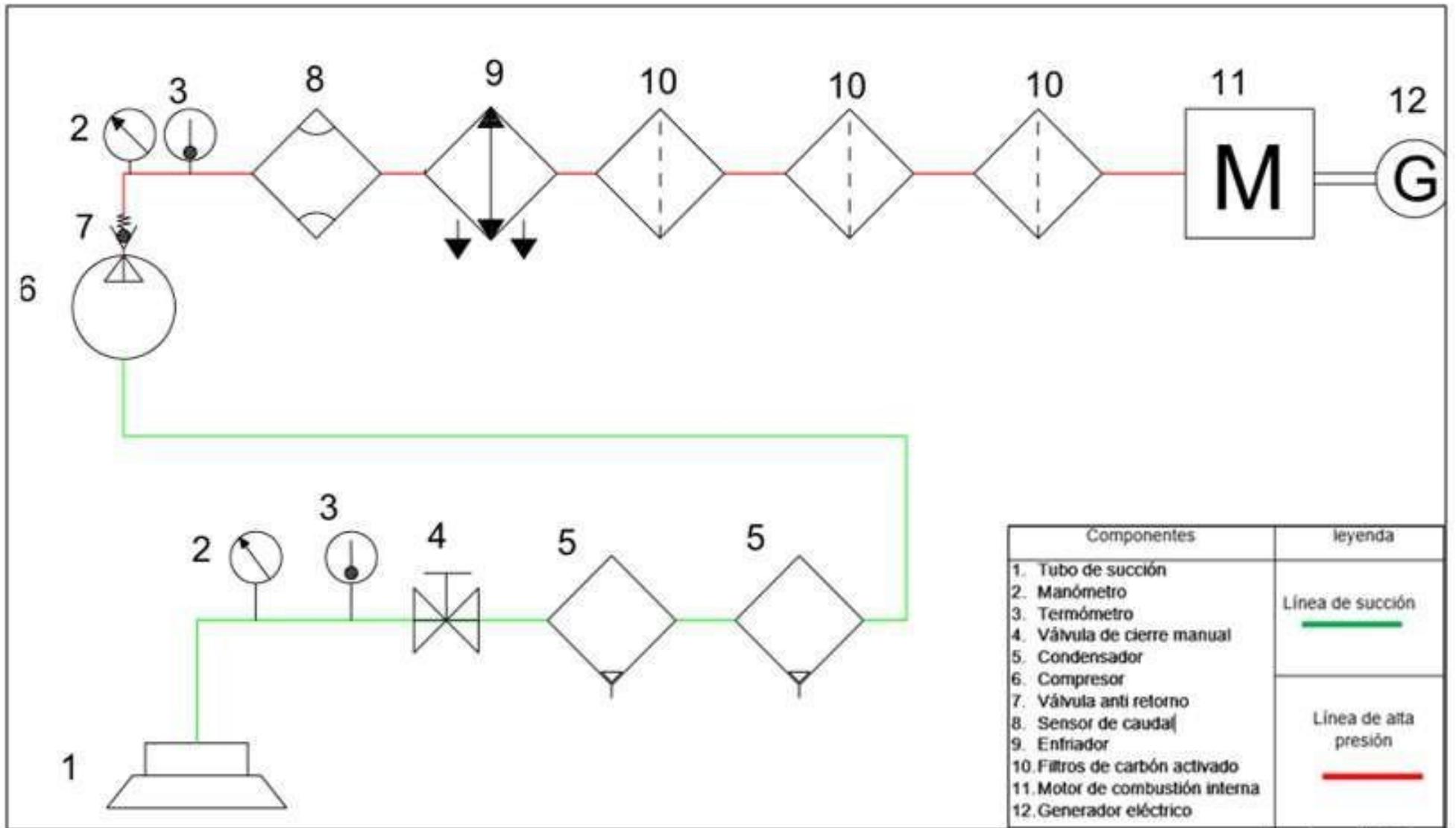
	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO</b> <small>FILIAL CAJAMARCA</small> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE</b> <b>INGENIERIA MECANICA ELECTRICA</b>	
	<small>TECNOLOGIA ALIMENTARIA LIMA</small>	<b>PLANO N°</b>
	<small>PLAN DE COLEGIO DE BOGOTÁ DE R. A. S. M. S. C. - C. S. S. C.</small>	<b>01</b>
	<small>FECHA: JUNIO 2011</small>	



Esquema de componentes principales de la planta de biogás



Plano del sistema de extracción de biogás



## ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, **CHAPOÑAN RIMACHI LUIS FERNANDO**, Docente del curso de desarrollo de Tesis de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica y revisor del trabajo académico (Tesis) titulado:

**“DISEÑO DE UNA PLANTA A BIOGAS PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN NAMORA – CAJAMARCA 2017”**, del Bachiller de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica:

**WILSON ALCANTARA LIMAY**

Que el citado trabajo académico tiene un índice de similitud del 22%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, grado de coincidencias irrelevantes que convierte el trabajo en aceptable y no constituye plagio, en tanto cumple con todas las normas del uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, 14 de Octubre del 2017


Luis Fernando Chaponan Rimachi  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
Reg. CIP. N° 72697

---

Docente de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**ING. CHAPOÑAN RIMACHI LUIS FERNANDO**

**REG. CIP N° 72697**



**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS  
EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV**

Código : F08-PP-PR-02.02  
Versión : 07  
Fecha : 31-03-2017  
Página : 9 de 9

Yo ALCANTARA LIMAY WILSON, identificado con DNI N° 47524521 egresado de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, de la Universidad César Vallejo, autorizo ( X ), No autorizo ( ) la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado: "DISEÑO DE UNA PLANTA A BIOGÁS PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN NAMORA – CAJAMARCA 2017"; en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33.

Fundamentación en caso de no autorización:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ALCANTARA LIMAY WILSON  
  
FIRMA

DNI: 47524521

FECHA: 20 de diciembre del 2018

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE  
EP DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

ALCANTARA LIMAY WILSON

INFORME TÍTULADO:

DISEÑO DE UNA PLANTA A BIOGÁS PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN NAMORA-  
CAJAMARCA 2017

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

---

SUSTENTADO EN FECHA: 17/09/2017

NOTA O MENCIÓN: APROBADO POR MAYORÍA



*[Handwritten signature]*

FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN