

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**“DISEÑO DE UNA CENTRAL ELÉCTRICA DE BIOMASA CONECTADO A
LA RED ELÉCTRICA PUNO, EN EL CERRO DE CANCHARANI -
DEPARTAMENTO DE PUNO”**

TESIS

PRESENTADO POR:

JORGE PAUL ORTIZ NUÑEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

“DISEÑO DE UNA CENTRAL ELÉCTRICA DE BIOMASA CONECTADO A
LA RED ELÉCTRICA PUNO, EN EL CERRO DE CANCHARANI -
DEPARTAMENTO DE PUNO”

TESIS PRESENTADA POR:

JORGE PAUL ORTIZ NUÑEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 15/11/2017.

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



PRESIDENTE:

Ing. LEONEL MARINO CASTILLO ENRÍQUEZ

PRIMER MIEMBRO:

M.Sc. JOSÉ ANTONIO VARGAS MARÓN

SEGUNDO MIEMBRO:

M.Sc. MARCOS JOSÉ VILLANUEVA CORNEJO

DIRECTOR / ASESOR:

M.Sc. JUAN RENZO ILLACUTIPA MAMANI

PUNO – PERÚ

2017

Área : Energías Renovables.

Tema : Biomasa.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano y a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, que durante mis estudios me forme en dichas Aulas.

A dios por guiarme, darme la mano en los momentos que más lo necesite y guiar cada pasó que grande o pequeño que di.

A los docentes, personal administrativo de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, que en los años que estudios me guiaron, aconsejaron, me impulsaron a ser mejor persona.

A mis padres, tíos, hermanas y primos, primas amigos que durante mis años de estudio me apoyaron y me guiaron a ser mejor persona.

DEDICATORIA

Esta Tesis está dedicado especialmente a mi Padre Felipe Ortiz Mullisaca y mi Madre Zenovia Núñez Flores por el apoyo incondicional y la comprensión que me tuvieron durante esta parte tan importante de mi vida.

A mis Hermanas Katy, Sandra y Nury Por su apoyo incondicional en mis estudios, consejos.

A mis sobrinos y Sobrinas.

A mi Tío Jesús que desde el cielo me guio en cada paso que di en mi vida.

ÍNDICE GENERAL**CONTENIDO**

RESUMEN	13
ABSTRACT	14
CAPÍTULO I	15
INTRODUCCIÓN	15
1.1.PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.2.DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2.1.DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	17
1.3.ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.4.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.4.1.OBJETIVO GENERAL	22
1.4.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
CAPÍTULO II	23
REVISIÓN DE LITERATURA	23
2.1. MARCO TEÓRICO	23
2.2. LA BIOMASA	29
2.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA BIOMASA	29
2.2.2. ENERGÍA A PARTIR DEL BIOGÁS	32
2.2.3. BENEFICIOS DEL BIOGÁS	34
CAPÍTULO III	37
MATERIALES Y MÉTODOS	37

3.1. ESTUDIO DE LA BIOMASA.....	37
3.1.1. SELECCIÓN DEL COMBUSTIBLE	37
3.1.2. DISPONIBILIDAD DE BIOMASA EN LA CIUDAD DE PUNO	38
3.1.3. UBICACIÓN ACTUAL DEL RELLENO SANITARIO DE PUNO.	39
3.1.4. RECOLECCIÓN.....	40
3.1.5. ASPECTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS -2015.....	41
3.2. EL BIOGÁS	42
3.2.1. OBTENCIÓN DEL BIOGÁS	42
3.3. TEMPERATURA	46
3.4. pH	48
3.5. NUTRIENTES	49
3.6. TOXICIDAD.....	49
3.7. UBICACIÓN DEL PROYECTO.	50
3.7.1. ANÁLISIS DE TECNOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DE VERTEDERO Y SU APLICACIÓN EN LA CIUDAD DE PUNO.	51
3.7.2. VERTEDEROS PARA RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS NO SELECCIONADOS	54
3.7.3. VERTEDEROS PARA RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS TRITURADOS.....	55
3.7.4. OTROS TIPOS DE VERTEDEROS	55
3.7.5. VERTEDERO COMO UNIDADES DE TRATAMIENTO INTEGRAL	55
3.7.6. VERTEDEROS DISEÑADOS PARA MAXIMIZAR LA PRODUCCIÓN DE GAS	56

3.7.7. NORMAS PARA LA INSTALACIÓN DE UN VERTEDERO CONTROLADO.....	56
3.7.8. POSIBLE TÉCNICA RECUPERACIÓN DEL VERTEDERO DE CANCHARANI	58
3.7.9. APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL BIOGÁS EN VERTEDEROS	60
3.8. UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (FORSU)	61
3.8.1. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE FORSU.....	61
3.8.2. PROCESO DE DESGASIFICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.	64
3.8.3. EQUIPOS.....	67
3.8.4. ASPECTOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DEL BIOGÁS.	68
3.9. CÁLCULO DE BIOGÁS GENERADO POR EL VERTEDERO Y CAPACIDAD DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A INSTALAR.	70
3.9.1. CÁLCULO DE EMISIÓN DE LOS PRINCIPALES GASES DEL BIOGÁS CH ₄ Y CO ₂	70
3.9.2. CÁLCULO DE EMISIONES, PARA EL RELLENO SANITARIO DE CANCHARANI DE LA CIUDAD DE PUNO.	76
CAPITULO IV.....	80
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	80
4.1. RESULTADOS.....	80



4.2 DISCUSIÓN	83
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS.....	87
ANEXOS	89

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Definición de biomasa	31
FIGURA 2 : Tratamiento y uso del biogás.....	34
FIGURA 3 : Esquema de generación eléctrica en relleno sanitario.	35
FIGURA 4: Vista GPS del botadero de Cancharani.....	39
FIGURA 5:Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicrófilicos, mesófilicos y termófilicos	47
FIGURA 6 : Producción de biogás en función de la Temperatura.....	48
FIGURA 7 : Proceso de formación de biogás	50
FIGURA 8: Ubicación del nuevo vertedero	51
FIGURA 9 : Vertedero moderno.....	53
FIGURA 10: Control permeable e impermeable de gases de vertedero	57
FIGURA 11: Recuperación de vertedero existente	59
FIGURA 12: Esquema básico de funcionamiento de una central de biomasa ..	60
FIGURA 13 : Esquema de aprovechamiento energético de rsu.....	61
FIGURA 14: Generación de electricidad en un vertedero controlado	63
FIGURA 15: Sistema de recuperación de biogás.....	64
FIGURA 16: Pozo de extracción vertical.....	65
FIGURA 17 : Esquema Generación Eléctrica con biomasa	69

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: Composición de Residuos Sólidos Domiciliarios Puno.....	38
TABLA 2 Coordenadas UTM del botadero de Cancharani	40
TABLA 3: Compuesto típicos del biogás.....	43
TABLA 4 : Clasificación de sustratos para la Digestión Anaeróbica	44
TABLA 5: Producción de biogás por tipo de Residuo	45
TABLA 6 : Producción de biogás a partir de residuos vegetales	45
TABLA 7: Valores aproximados de la relación carbono/nitrógeno de algunos residuos disponibles en el medio rural	46
TABLA 8 : Rangos de Temperatura y tiempo de Fermentación Anaeróbica.....	47
TABLA 9 : Impactos de las Prácticas de Gestión de Residuos, realizadas de forma incontrolada sobre el Medio Ambiente	52
TABLA 10: Opciones de uso potencial de biogás	63
TABLA 11 Valores estimados por epa para las constantes.	73
TABLA 12: Factores de emisión de emisión de NO ₂ , según distintos sistemas de control.	76
TABLA 13: Comparación de producción Vertedero de la tesis mencionada y la nuestra.....	82

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Símbolo	Significado
%	Porcentaje
CO ₂	Dióxido de Carbono
MW	Mega Watt
KWh	Kilo Watt- hora
KW	Kilo Watt
°C	Grado Centígrado
m	Metro
KV	Kilo Voltios
W	Watt
CH ₄	Metano
H ₂ S	Ácido Sulfhídrico o Sulfuro de hidrogeno
NH ₃	Amoniac H ₂ O Agua
H ₂	Hidrógeno
CO	Monóxido de Carbono
N ₂	Nitrógeno
O ₂	Oxígeno
Kcal/g	Kilo Caloría / gramo
Kcal	Kilo caloría
kg/m ³	Kilogramo / metro
Kg	Kilogramo

m^3	metro cúbico
K	Potasio
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
Km^2	Kilómetros cuadrados
Kg/hab/día	Kilogramo / habitante / día
Tn	Tonelada
H_2SO_4	ácido sulfúrico
F	energía de combustible
W	energía eléctrica generada
Q_u	calor útil
P	Pérdidas
η_{el}	rendimiento eléctrico
η_t	rendimiento de calor útil
KVA	Kilo Volt Amperio
RPM	revoluciones por minuto
Lo	potencial de generación de CH_4 en m^3/Tn de RSU vertida.
R	media anual de RSU en Tn/año
K	Ratio de generación de CH_4 en 1/año
C	tiempo desde la clausura del vertedero en años

T	tiempo desde la primera deposición de basura en años
DOC	fracción de carbón orgánico degradable en la basura
DOCf	porción de DOC que se convierte a gas
F	fracción de CH ₄ en el gas gestionado
MCF	cantidad de CH ₄ en el biogás
Q _{CH4}	caudal de metano
Q _{CH2}	caudal de dióxido de carbono
Ump	emisión del contaminante p no controlado
MWp	peso molecular de p
Qp	ratio de emisión de p, m ³ /año
T	temperatura del vertedero
NO ₂	Dióxido de Nitrógeno
CM _{CH4}	emisiones controladas del CH ₄
UM _{CH4}	emisiones de no controladas del CH ₄
η col	eficiencia de recogida de gas
η cnt	eficiencia del sistema de control
CM _{CO2}	emisiones controladas de CO ₂
UM _{CO2}	emisiones no controladas de CO ₂
UM _{CH4}	emisiones de no controladas de CH ₄

m^3/h

metro cúbico / hora

GLOSARIO

SIGERSOL

Sistema de información para la gestión de los residuos sólidos.

Biogás

Combustible gaseoso obtenido por fermentación anaerobia de residuos biodegradables

CND

Centro Nacional de Despacho

CNDC

Centro Nacional del Despacho de Carga

CNEE

Comisión Nacional de Energía Eléctrica

Combustión

Reacción entre el oxígeno y un material combustible, que, por desprender energía, suele causar incandescencia o llama.

Compost

Fertilizante natural procedente de residuos orgánicos.

Compostaje

Proceso biológico aeróbico, que por el que se obtiene compost.

Densidad

Relación entre la masa y el volumen de una sustancia o cuerpo.

Desgasificación

Extracción o pérdida de gases disueltos.

ESI

Evaluación de Impacto Socioeconómico

Fermentación Anaerobia

Descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno

FORSU	Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos Gestión Dirección, administración de una empresa, negocio, etc.
Incineración	Reducción a cenizas de algo mediante combustión en exceso de oxígeno
Lixiviado	Líquido y sus componentes en suspensión, que ha percolado o drenado a través de la masa de residuos.
MCI	Motor de combustión interna
MEM	Ministerio de Energía y Minas
Metano	Hidrocarburo gaseoso, incoloro, inodoro, poco soluble e inflamable, producido por la descomposición de sustancias orgánicas, siendo uno de los componentes del biogás.
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SEIN	Sistema Interconectado Nacional.
Vertedero	Instilación física utilizada para deposición de Residuos Sólidos Urbanos.
Vertedero Controlado	Instalación física diseñada para minimizar el impacto ambiental de la deposición de Residuos Sólidos Urbanos.
HDPE	Alta densidad de polietileno

RESUMEN

En la presente tesis de grado, se analiza el aprovechamiento de la biomasa en el vertedero no controlado de Cancharani (RSU) en forma de biogás, la obtención de la misma, propiedades, ventajas medioambientales y la utilización para la generación de energía eléctrica. El Botadero de Cancharani, sitio de disposición final de los residuos sólidos urbanos producidos por la ciudad de Puno, escogida para realizar el estudio de producción de biogás, su recuperación, posible reubicación de dicho vertedero.

La cantidad de gas estimada a ser obtenida del Botadero de Cancharani, se calculó a partir de la, “Guía Técnica para la Medición, Estimación y Cálculo de las emisiones de Aire” - (HIOBE – Sociedad Pública de gestión Ambiental). Para el uso de esta guía debemos conocer el promedio anual de recepción de residuos sólidos urbanos, El número de años que el relleno sanitario lleva abierto o que lleva cerrado, sin recibir residuos sólidos urbanos, entre otros parámetros.

Una vez Calculada la producción de biogás del botadero de Cancharani, seleccionamos, la planta eléctrica econogas a biogás de 65 KW de potencia, que mediante un tablero de transferencia automática o manual, se conecta a la red eléctrica de media tensión de Puno.

Palabras Claves: Biomasa, Calor específico, Combustión, Transformador, electricidad.

ABSTRACT

In the present thesis, we analyze the use of biomass in the uncontrolled landfill of Cancharani (RSU) in the form of biogas, obtaining it, properties, environmental advantages and the use for the generation of electrical energy. The Botadero de Cancharani, site of final disposal of the urban solid waste produced by the city of Puno, chosen to carry out the study of biogas production, its recovery, possible relocation of said landfill.

The amount of gas estimated to be obtained from the Cancharani Dump was calculated from the "Technical Guide for the Measurement, Estimation and Calculation of Air Emissions" - (HIOBE - Public Environmental Management Company). For the use of this guide we must know the annual average of urban solid waste reception, the number of years that the sanitary landfill has been open or that has been closed, without receiving solid urban waste, among other parameters.

Once the biogas production of the Cancharani dump was calculated, we selected the econogas biogas plant with 65 KW of power, which is connected to the medium voltage power grid of Puno through an automatic or manual transfer board.

Keywords: Biomass, Specific heat, Combustion, Transformer, electricity.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

Uno de los métodos de producción de energía limpia que se ha convertido en un tema de gran interés en la actualidad es la biomasa (biogás) a través de la cual es posible obtener energía, el biogás se obtiene por descomposición anaeróbica, la materia prima necesaria para producción de biogás, es la materia orgánica que puede provenir tanto de desechos de la agricultura, como de estiércol, desechos municipales (aguas negras), desperdicios de comida, etc. Entre otros, como producto final se obtiene una fuente de energía renovable llamada biomasa (biogás).

A menudo a nivel mundial se habla sobre grandes sistemas capaces de convertir la materia orgánica que puede provenir tanto de desechos de la agricultura, como de estiércol, desechos municipales, desperdicios de comida, etc. en energía eléctrica, la cual comúnmente en nuestro departamento de Puno no tiene ningún manejo o selección, se deposita en botaderos, no se les da ningún uso,

contaminando el medio ambiente con los GEI (gases de efecto invernadero). En PERÚ, en la ciudad Lima, existe este tipo de sistemas de producción de electricidad a través del biogás producido por la basura. sistemas de producción de biomasa, un ejemplo claro es la CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE BIOMASA-HUAYCOLORO. La presente tesis quiere dar una nueva alternativa de generación de energía eléctrica limpia en la región de Puno, ayudando al medio ambiente reduciendo los gases de efecto invernadero, usando los desechos orgánicos producidos por el departamento de Puno como materia prima de generación eléctrica

1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El presente proyecto consistirá en investigar la biomasa para producción de energía eléctrica a partir de la producción del biogás como materia prima, parámetros para de selección de un vertedero, parámetros para la selección de los componentes de nuestra central, cálculos para el conexionado a la red, poniendo especial atención en tema de biogás en puntos como su producción, composición y sus características para verificar bajo qué condiciones es factible aprovechar el biogás y la producción de electricidad a partir de esta. Bajo este contexto, se quiere incentivar a los gobiernos de turno, que inviertan en este tipo de proyectos de generación de biogás a partir de los residuos sólidos urbanos, solucionando a la vez el problema de los vertederos no tratados y no gestionados que no producen ningún beneficio, que contaminan el medio ambiente y a la vez generar gastos en su recolección para que al final solo sean depositados en botaderos no gestionados.

1.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

PUNO, es uno de los 24 departamentos del PERÚ, su capital PUNO, está ubicada en la sierra sudeste del país, en la meseta del Collao a: 13°00'66"00" y 17°17'30" de latitud sur y los 71°06'57" y 68°48'46" de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Limita por el Sur, con la región Tacna. Por el Este, con la República de Bolivia y por el Oeste, con las regiones de Cusco, Arequipa y Moquegua.

El Proyecto de tesis, está proyectado en él, Cerro de Cancharani (botadero de cancharani).

Departamento: Puno Provincia: Puno Distrito: Puno.

Latitud: -15.8833 y Longitud: -70.0167.

- **Aspectos Sociales**

El departamento de Puno es el quinto departamento más poblado del país, albergando a 1, 268,441 (4,6% de la población del país), según el XI Censo de Población y Vivienda 2007.

La ciudad de Puno tiene una población estimada de 136,75 habitantes al 2007; adicionalmente cuenta con una población flotante de turistas y pobladores de otros distritos del departamento. En los últimos 50 años el incremento poblacional fue medio, con una tasa de crecimiento anual estimada en 2.59% anual debido principalmente al incremento de la población inmigrante de diversos distritos del departamento de Puno.

- **Aspectos Socio – Económicos**

Las principales actividades económicas en el distritito de PUNO son:

- ❖ Agropecuaria

La actividad agropecuaria es la principal ocupación en la región, pese a las frecuentes heladas, sequías o inundaciones. El trabajo agrícola tiene un carácter estacional, se espera las lluvias para poder cultivar lo que afecta la economía de población.

Se siembra papa, quinua, cebada, cañihua, oca y habas. Somos el primer productor de ovinos, camélidos y auquénidos, por lo tanto, también de lana, en el país somos el segundo productor de trucha para la exportación.

- ❖ Turismo

Dentro del turismo nacional, la ciudad de Puno es la tercera ciudad que recibe mayor flujo de turistas extranjeros después de Cusco y Lima, por estar inmerso dentro del circuito turístico receptivo más importante del país, En este contexto y por el gran contenido de bienes culturales y recursos naturales.

- ❖ Pesca

El Lago Titicaca produce variada y numerosa vida hidrológica. Las especies más sobresalientes son la trucha, el pejerrey, carachi, ispi. La pesca se realiza artesanalmente o familiar. (Plan desarrollo provincial concentrado, 2011)

SITUACIÓN ACTUAL DEL MANEJO DE RESIDUOS

El manejo Actual de los Residuos de la ciudad de Puno, consta de un plan de manejo y un estudio de caracterización de residuos sólidos realizado por la Municipalidad de Provincial de Puno, realizado en el año 2013 y 2015.

A. PLAN DE MANEJO

El municipio si cuenta con un Plan de Gestión de Residuos Sólidos aprobado mediante Ordenanza Municipal con número 371-2013-CMPP aprobado en el año 2013

B. ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN

El municipio si cuenta con Estudio de Caracterización aprobado en el año 2015

1.3. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

(Pelegrina Ortiz – Manuel, 2016)

Objetivo.- En el presente proyecto se pretende realizar el diseño de una central termoeléctrica que utilice como combustible biomasa forestal. Dicha central, se emplazará en la comarca del Solsonès (Lleida). Para su dimensionamiento se ha tenido en cuenta dos parámetros: el potencial de biomasa disponible anualmente y la demanda de energía eléctrica en esta comarca.

Conclusión.- Una vez concluido el presente trabajo, las conclusiones a las que se llegan son muy positivas: por un lado se demuestra que la construcción de

una central termoeléctrica de biomasa en la comarca del Solsonés no solo es un proyecto técnicamente viable sino que también muy rentable económicamente (empezaría a generar beneficios a partir del séptimo año).

(García García – Clara Inés, 2013)

Objetivo.- Diseño de una planta de generación de energía eléctrica mediante el uso de biomasa. Se definirán los procesos para la obtención de energía eléctrica a partir de la gasificación de la biomasa. Desde la recogida y transporte del combustible primario, pasando por su adecuación. La producción y acondicionamiento del gas de síntesis, y por último la generación de electricidad mediante el uso de un ciclo Rankine.

Conclusiones.- El detallado estudio económico de la instalación y puesta en marcha de la planta de gasificación de biomasa para la producción de energía eléctrica a través del uso de un ciclo Rankine ha determinado que se trata de un proyecto viable económicamente y atractivo para invertir. La ejecución de este proyecto ha tenido como objetivo principal demostrar que la producción de energía eléctrica verde haciendo uso de biomasa como combustible principal es rentable y su aprovechamiento posee multitud de ventajas medioambientales. Los ingresos de la planta de gasificación provienen de la venta de energía eléctrica bajo un marco político de retribuciones para el desarrollo de nuevas tecnologías limpias y el fomento del uso de las energías renovables para la producción eléctrica. Aunque, tras la moratoria impuesta por el Real Decreto-Ley 01/2012, desaparecieron.

En el mundo la biomasa como energía como fuente de renovable va en aumento, Asia es el continente que más instalaciones de biogás ha construido. En 1973 se creó la Oficina de Difusión del Biogás y posteriormente el centro regional de investigación en biogás por Asia y Pacífico

1. En china, el 70% del combustible para uso doméstico en las zonas rurales proviene de descomposición de paja y los tallos de los cultivos.
2. En el Perú, en Lima, la central de biomasa HUAYCOLORO con una producción de energía de 4.8 megavatios por hora y una línea de transmisión de 22kv es un referente para producción de energía a través de la basura producida por las personas y también es una solución de la problemática de los diferentes municipios que no tiene un proyecto para recuperar y darle un buen uso a la basura recolectada por estos.
3. En Europa, Existen más de 500 instalaciones productoras de este gas biológico, Holanda y Dinamarca son los países que marcan la pauta industrial, dependerá de las exigencias medioambientales y de los precios del costo de la energía.(Bosh, 2011)

Hay varios estudios sobre la producción de energía eléctrica a partir de los residuos sólidos urbanos y el posible uso de este para la producción de biogás, como por ejemplo el estudio que realizó el Ing. José Antonio Vargas Marón docente de la escuela Profesional de Ing. Mecánica Eléctrica – UNAP, para la ciudad de Puno: “Factibilidad de generación de energía eléctrica desde el biogás obtenido por el tratamiento de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Puno”.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

La tesis tiene como objetivo general, el diseño a nivel conceptual de una central eléctrica de biomasa conectada a la red, mediante la combustión de biogás procedente de residuos sólidos urbanos (RSU).

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Determinar de manera sistemática el aprovechamiento de RSU en la central de generación eléctrica.
- b) Cálculo de la potencia a generar de la central de biomasa con los RSU.
- c) Cálculo de biogás producido por el botadero de Cancharani y su posible reubicación.
- d) Estudio del combustible y coste de la recolección del mismo para la producción Eléctrica.
- e) Descripción del funcionamiento de una Central Eléctrica de biomasa.
- f) Promocionar el uso de las energías renovables y en especial el aprovechamiento de los RSU como un método de preservación del medio ambiente y nuestro ecosistema.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

(Pelegrina Ortiz – Manuel, 2016)

Objetivo.- En el presente proyecto se pretende realizar el diseño de una central termoeléctrica que utilice como combustible biomasa forestal. Dicha central, se emplazará en la comarca del Solsonès (Lleida). Para su dimensionamiento se ha tenido en cuenta dos parámetros: el potencial de biomasa disponible anualmente y la demanda de energía eléctrica en esta comarca.

Conclusión.- Una vez concluido el presente trabajo, las conclusiones a las que se llegan son muy positivas: por un lado se demuestra que la construcción de una central termoeléctrica de biomasa en la comarca del Solsonés no solo es un proyecto técnicamente viable sino que también muy rentable económicamente (empezaría a generar beneficios a partir del séptimo año).

(García García – Clara Inés, 2013)

Objetivo.- Diseño de una planta de generación de energía eléctrica mediante el uso de biomasa. Se definirán los procesos para la obtención de energía eléctrica a partir de la gasificación de la biomasa. Desde la recogida y transporte del combustible primario, pasando por su adecuación. La producción y acondicionamiento del gas de síntesis, y por último la generación de electricidad mediante el uso de un ciclo Rankine.

Conclusiones.- El detallado estudio económico de la instalación y puesta en marcha de la planta de gasificación de biomasa para la producción de energía eléctrica a través del uso de un ciclo Rankine ha determinado que se trata de un proyecto viable económicamente y atractivo para invertir. La ejecución de este proyecto ha tenido como objetivo principal demostrar que la producción de energía eléctrica verde haciendo uso de biomasa como combustible principal es rentable y su aprovechamiento posee multitud de ventajas medioambientales. Los ingresos de la planta de gasificación provienen de la venta de energía eléctrica bajo un marco político de retribuciones para el desarrollo de nuevas tecnologías limpias y el fomento del uso de las energías renovables para la producción eléctrica. Aunque, tras la moratoria impuesta por el Real Decreto-Ley 01/2012, desaparecieron.

(Aldoma Peña – Gerard, 2010)

Objetivo.- La ejecución de este proyecto ha tenido como objetivo principal demostrar que la producción de energía eléctrica verde haciendo uso de biomasa como combustible principal es rentable y su aprovechamiento posee multitud de

ventajas medioambientales. Los ingresos de la planta de gasificación provienen de la venta de energía eléctrica bajo un marco político de retribuciones para el desarrollo de nuevas tecnologías limpias y el fomento del uso de las energías renovables para la producción eléctrica. Aunque, tras la moratoria impuesta por el Real Decreto-Ley 01/2012, desaparecieron.

Conclusiones.- La ejecución de este proyecto ha tenido como objetivo principal demostrar que la producción de energía eléctrica verde haciendo uso de biomasa como combustible principal es rentable y su aprovechamiento posee multitud de ventajas medioambientales. Los ingresos de la planta de gasificación provienen de la venta de energía eléctrica bajo un marco político de retribuciones para el desarrollo de nuevas tecnologías limpias y el fomento del uso de las energías renovables para la producción eléctrica. Aunque, tras la moratoria impuesta por el Real Decreto-Ley 01/2012, desaparecieron.

(Ramírez Rodríguez – Luis diego, 2004)

Objetivo.- Determinar la viabilidad técnica y financiera de la generación de electricidad por medio de biogás.

Conclusiones.- El proyecto de la finca ROBAGO S.A. es muy oneroso ya que los materiales y equipos utilizados eran nuevos. Lo que significó una inversión inicial muy alta alrededor de los € 6 678 859,00 de colones. El análisis económico reflejó que el VAN para una tasa interna de descuento del 22% anual presenta pérdidas por 121 761,37 de colones anuales, lo que significa que no es rentable ya que las tasas del sistema financiero están en el orden del 22 % hacia arriba. No sería rentable solicitar un préstamo, para realizar un proyecto de esta

magnitud con equipos nuevos. El TIR reflejó una tasa del 21,2% anual lo que nos garantiza una tasa atractiva pero no competitiva en el mercado financiero. El segundo escenario nos refleja un TIR con una tasa del 24,5%, donde el factor predominante es el rendimiento del motor y su consumo de diésel. Las pruebas de campo y el análisis de los datos obtenidos, reflejaron el comportamiento real de la unidad generadora y la producción de biogás en los biodigestores dando de esta forma herramientas muy importantes para el análisis y comprensión del sistema. Uno de los datos importantes obtenidos por el resultado de las pruebas de campo es el poder establecer el rendimiento del motor diésel, esta variable brindó un parámetro muy importante en el análisis financiero logrando determinar que el proyecto es rentable.

(Grass Puga – Bruno Daniel, 2013)

Objetivo.- El objetivo del trabajo es determinar la pre factibilidad técnico-económica de instalación de una planta de biogás para la empresa Reciclajes Industriales S.A. como una unidad de negocio independiente. Lo anterior, en su actual locación: Pudahuel.

Conclusiones.- Reciclajes Industriales S.A. tiene una provisión de sustrato de más de 68.000 toneladas, actualmente están siendo utilizadas para la producción de biofertilizante a través de un proceso de digestión aeróbica – compostaje en pilas-. A partir de esto, surge la posibilidad de obtener mayores ingresos a partir de la misma base de insumos y sin interrumpir la producción de biofertilizante.

En el estudio de mercado se estudiaron los distintos mercados energéticos y de disposición final. Como se planteó anteriormente, existen distintas opciones para comercializar el output de energía de la planta de biogás. La opción del mercado eléctrico destaca, ya que presenta interesantes beneficios para las ERNC y PMGD – dentro de las cuales el proyecto clasifica – y además, los precios de la energía en Chile lo hacen aún más atractivo – más de 90 USD/kWh -. Por otra parte, existe la posibilidad de comercializar energía térmica a clientes como el Aeropuerto Arturo Merino Benítez o TOMAVAL, mediante la instalación de un invernadero en las inmediaciones de la planta. Al no existir tarifas de energía térmica en Chile, se utilizó como proxy las tarifas de clientes industriales de Metrogás S.A. que se mueven en el rango de los 15 – 22 USD/MMbtu. Posteriormente se descartaron posibilidades como la comercialización de biogás depurado – gas natural -, esto debido a los altos costos de instalación y lejanía con la matriz de distribución.

(Pérez Rosales – Mario Fernando, 2006)

Objetivo.- Incentivar el aprovechamiento de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos, RSU; por la producción de biogás, para utilizarlo como combustible en la generación de energía eléctrica a través de motores de combustión interna, en instalaciones con fines no energéticos, como un vertedero controlado, ayudando al Desarrollo Sostenible, como una fuente de Energía Renovable que no afecte al medio ambiente al producir energía eléctrica disminuyendo, además, el volumen de Residuos Sólidos Urbanos.

Conclusiones:

1. La dependencia actual de los combustibles fósiles para fines energéticos ha iniciado una necesidad de alternativas viables de recursos renovables que satisfagan las necesidades energéticas de un modo sostenible para el medio ambiente.
2. La situación actual de desarrollo tecnológico y consumo desmedido, debido a la expansión de la economía global, se traduce en la problemática de la generación de residuos sólidos urbanos, creando un impacto negativo en el medio ambiente; por lo que dentro de los modos de gestión controlados de los mismos se busca la viabilidad para un desarrollo sostenible con fines no energéticos.
3. La actividad energética como producción de combustible para su posterior utilización, en la gestión de los residuos sólidos urbanos puede ser un complemento al aprovechamiento social de la rentabilidad económica y ambiental de dicha actividad, siendo una opción la generación de energía eléctrica.
4. Entre la necesidad de opciones de gestión de RSU, el vertedero controlado, constituye por considerarse el de mayor utilización, un complejo factible para la producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.
5. Siendo el aprovechamiento energético de los RSU un complemento de su gestión, la finalidad principal de una instalación destinada para esta actividad es medioambiental, pues la posibilidad de obtención de biogás y su

aprovechamiento está en función a las condiciones de trabajo de la instalación considerada como no energética. Sin embargo, la actividad energética es una parte del conjunto de procesos generando biogás y éste una utilización posterior energética como producción de energía eléctrica la que significará una rentabilidad económica.

2.2. LA BIOMASA

2.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA BIOMASA

La energía de biomasa o bioenergía es un tipo de energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico. Por lo general se saca de los residuos de las sustancias que constituyen los seres vivos (plantas, animales, entre otros) o sus restos y residuos. El aprovechamiento de la energía de la biomasa se hace directamente (por ejemplo, por combustión) o por transformación en otras sustancias que pueden ser aprovechadas más tarde como combustibles o alimentos. (Martin Gonzales, 2004)

En su más estricto sentido, la biomasa es un sinónimo de biocarburantes (combustibles derivados de fuentes biológicas). En su sentido más amplio, abarca también el material biológico utilizado como biocombustible, así como las situaciones sociales, económicas, científicas y técnicas relacionadas con el uso de fuentes de energía biológica.

La energía contenida en la biomasa seca es más fácil de aprovechar mediante procesos termoquímicos como la combustión, la pirolisis o la gasificación. El rendimiento energético obtenido suele ser alto. Así, entre los productos que se

obtienen en este aprovechamiento destacan el calor para calefacciones, calderas, etc. la electricidad (haciendo pasar vapor a gran presión por una turbina unida a un generador eléctrico), el vapor de agua caliente o diversos combustibles como metanol, CH₄, entre otros.

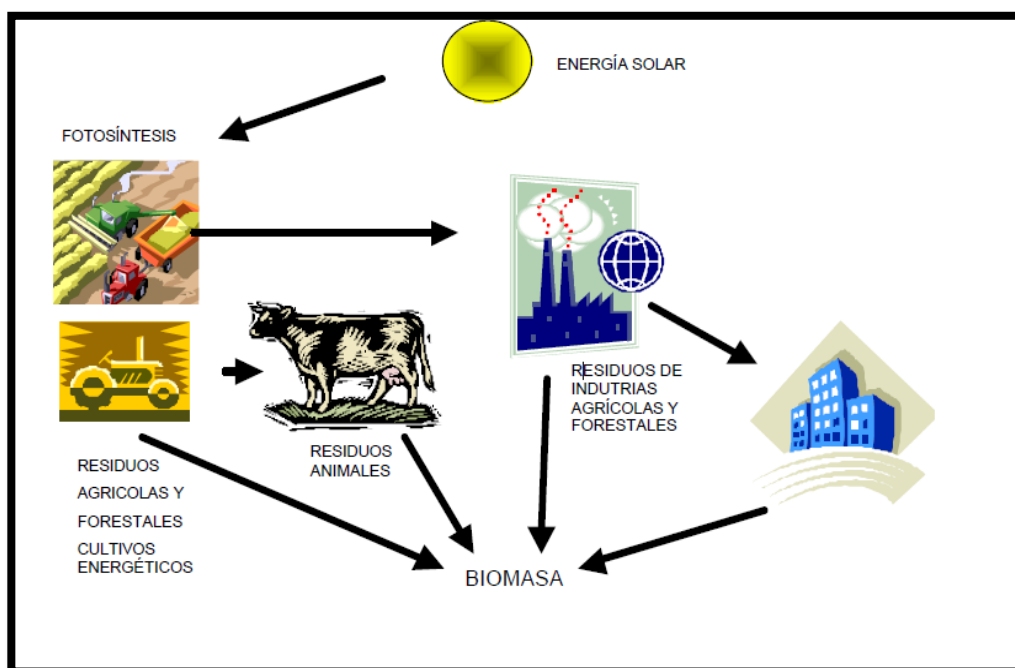
Para el aprovechamiento de la energía de la biomasa hay instalaciones pequeñas para uso doméstico (chimeneas u hogares de leña), medianas (digestores de residuos ganaderos en granjas) y grandes (centrales térmicas que queman residuos agrícolas o forestales para obtener electricidad o suministrar calefacción a un distrito o ciudad, entre otros).

Actualmente existen diferentes tecnologías conocidas y comercialmente viables para transformar la biomasa en electricidad: combustión directa en calderas de bombas, co-fuego de bajo porcentaje, digestión anaeróbica, incineración de residuos sólidos municipales, gas de vertedero, y calor y energía combinados. Algunas tecnologías más recientes, como la gasificación de la biomasa atmosférica y la pirolisis, se encuentran en la etapa previa para el despliegue comercial. Asimismo, tecnologías como el ciclo combinado de gasificación integrada, las bio-refinerías y el bio-hidrógeno están en la fase de investigación y desarrollo (I+D).

Los potenciales de reducción de costos son relativamente pequeños para las tecnologías establecidas; sin embargo, el potencial a largo plazo de reducción de costos para tecnologías más recientes sigue siendo bueno, teniendo en cuenta la instalación futura estimada y la tasa de crecimiento anual de la capacidad instalada acumulada. El proceso de generación de energía mediante la biomasa depende de tres factores principales:

- **Materias primas de biomasa:** Las materias primas para la generación de biomasa varían de región a región y diferentes materias primas tienen distintas propiedades que afectan su uso para la generación de energía.
- **Conversión de biomasa:** La conversión es un proceso mediante el cual las materias primas se transforman en energía utilizada para generar calor y/o electricidad (por ejemplo, gasificación, pirolisis, digestión en biogás y combustión).
- **Tecnologías de generación de energía:** Existe una amplia gama de tecnologías comercialmente viables que pueden utilizar la energía útil generada por la biomasa como insumo de combustible. Uno de los determinantes más importantes del éxito económico de los proyectos de biomasa es la disponibilidad de un suministro de combustible seguro y sostenible es decir, materias primas para la conversión.(Osinergmin, 2017)

FIGURA 1: Definición de biomasa



Fuente: (Ramírez, 2004)

2.2.2. ENERGÍA A PARTIR DEL BIOGÁS

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno. Este gas se ha venido llamando gas de los pantanos, puesto que en ellos se produce una biodegradación de residuos vegetales semejante a la descrita.

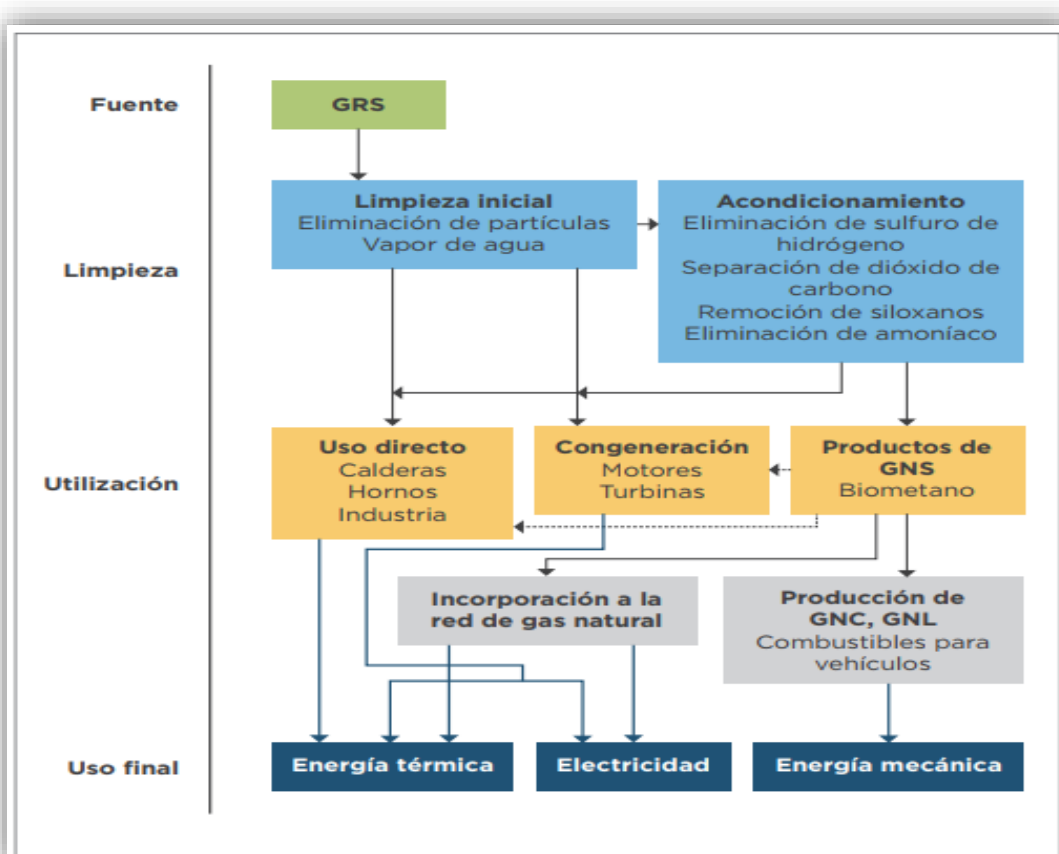
La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables, ya que produce un combustible de valor además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico.

El resultado es una mezcla constituida por metano (CH_4) en una proporción que oscila entre un 50% y un 70% en volumen, y dióxido de carbono (CO_2), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S). El biogás tiene como promedio un poder calorífico entre 18.8 y 23.4 megajulios por metro cúbico (MJ/m^3).

Este gas se puede utilizar para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, en hornos, estufas, secadores, calderas, otros sistemas de combustión a gas, debidamente adaptados para tal efecto. (FAO, 2011)

Un biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformarlo en biogás y fertilizante. El biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas e iluminación, y en grandes instalaciones se puede utilizar para alimentar un generador que produzca electricidad. El fertilizante, llamado biol, se consideraba inicialmente como un producto secundario, pero actualmente está valorado con igual o mayor importancia que el biogás, ya que provee a las familias campesinas de un fertilizante natural que mejora mucho el rendimiento de las cosechas. Los sistemas combinados de calor y electricidad utilizan la electricidad generada por el combustible y el calor residual que se genera. Algunos sistemas combinados producen principalmente calor y la electricidad es secundaria. Otros sistemas producen principalmente electricidad y el calor residual se utiliza para calentar el agua del proceso. En ambos casos, se aumenta la eficiencia del proceso en contraste si se utilizara el biogás solo para producir electricidad o calor. Las turbinas de gas (micro turbinas, desde 25 hasta 100 kW y turbinas grandes, >100 kW) se pueden utilizar para la producción de calor y energía, con una eficiencia comparable a los motores de encendido por chispa y con un bajo mantenimiento. Sin embargo, los motores de combustión interna son los usados más comúnmente en este tipo de aplicaciones. El uso de biogás en estos sistemas requiere la remoción de H₂S (bajo 100 ppm) y vapor de agua. Las celdas de combustible serían las plantas de energía a pequeña escala del futuro para la producción de electricidad y calor con una eficiencia superior al 60% y bajas emisiones. (Osinergmin, 2017)

FIGURA 2 : Tratamiento y uso del biogás.



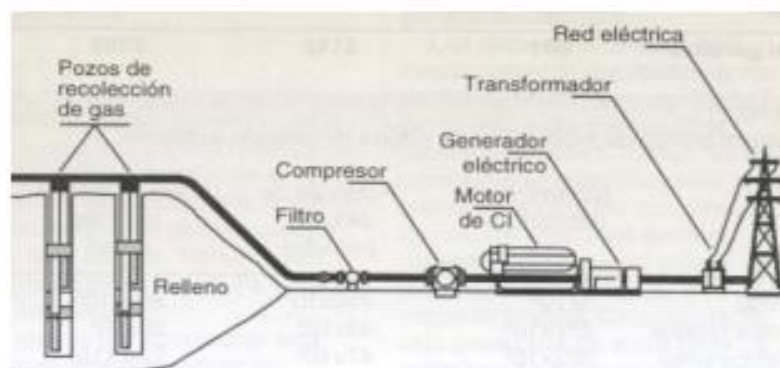
Fuente: (Generación de electricidad a partir de biogás capturado de RSU, 2017)

2.2.3. BENEFICIOS DEL BIOGÁS

Según Arzate (2015), el biogás puede ser producido donde sea sin importar si la planta industrial se localiza en una zona urbana o rural. Es por esto que la energía eléctrica y el calor pueden ser producidos donde se necesite. Dependiendo de la demanda de potencia, no se requieren por esto grandes plantas convencionales o nucleares. El uso de bacterias para producir combustible de alta calidad es una gran ventaja económica que no solo es atractiva para naciones industrializadas, sino también para países emergentes.

El resto o bioabono es una fuente importante de nitrógeno, que además es fácilmente asimilable para las plantas. El proceso de fermentación anaeróbica enriquece el contenido de nitrógeno en el bioabono de 0.5% que tiene al comienzo del proceso, a 2.5%, después de 16 días de fermentación anaeróbica. El bioabono producido anaerómicamente está libre de patógenos (bacterias y hongos) que pueden representar un riesgo para la salud, debido a que durante el proceso de fermentación anaeróbica de los insumos se alcanzan temperaturas de hasta 70°C. Con este calor se logra prácticamente una pasteurización natural, que elimina a los patógenos. (Osinergmin, 2017)

FIGURA 3 : Esquema de generación eléctrica en relleno sanitario.



Fuente: (Arvizu Huacuz, 2006)

Ventajas medioambientales:

- a) La obtención de biogás por medio de la digestión anaeróbica tiene un enorme potencial no solo para evitar daños ecológicos, sino para además obtener energía de forma eficiente. El uso de técnicas de digestión anaeróbica, además de reducir emisiones de CH₄, conlleva a la

disminución de las emisiones de amoníaco y otros GEI, así como de compuestos orgánicos volátiles no metánicos y de compuestos que causan malos olores.

- b) Es por ello que el biogás debe de ser considerado un recurso renovable e incentivado por un apoyo económico adecuado. Por ejemplo, la legislación española en materia de energía renovable prevé una retribución a la energía eléctrica producida del biogás que, si bien todavía lejana de las tarifas de otros países europeos como Alemania o Italia, permite la construcción y operación de plantas de biogás con buenas rentabilidades. **Ver figura 2.** (Osinergmin, 2017)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ESTUDIO DE LA BIOMASA

3.1.1. SELECCIÓN DEL COMBUSTIBLE

El combustible empleado en la central será Biomasa Residual, generado a diario por las personas (cualquier actividad realizada por las personas genera basura)

El biogás tiene como promedio un poder calorífico entre 18.8 y 23.4 megajulios por metro cúbico (MJ/m³).

Comúnmente denominados basura a los residuos producidos por la actividad humana, que acuerdo al Art.14° de la Ley N° 27314, Ley general de Residuos Sólidos; los define como aquellas sustancias, productos o subproductos en estado Sólidos o Semisólidos de las que su generador dispone o está obligado a disponer.

3.1.2. DISPONIBILIDAD DE BIOMASA EN LA CIUDAD DE PUNO

En la ciudad de PUNO, El municipio cuenta con Estudio de Caracterización de residuos sólidos urbanos aprobado el año 2015. Población Urbana: 120229 Hab. Población Rural: 5434 Hab.

La generación per cápita de residuos sólidos municipales es de 1.06 kg./hab./día y la de residuos domiciliarios es de 0.55 kg./hab./día.

La Densidad promedio de los Residuos Sólidos Domiciliarios compactados es de 0.00 Kg/m³ y sin compactar es de 184.96 Kg/m³.

El porcentaje de humedad de los residuos sólidos es de 49.09%.

La Composición de Residuos Sólidos Domiciliarios es para:

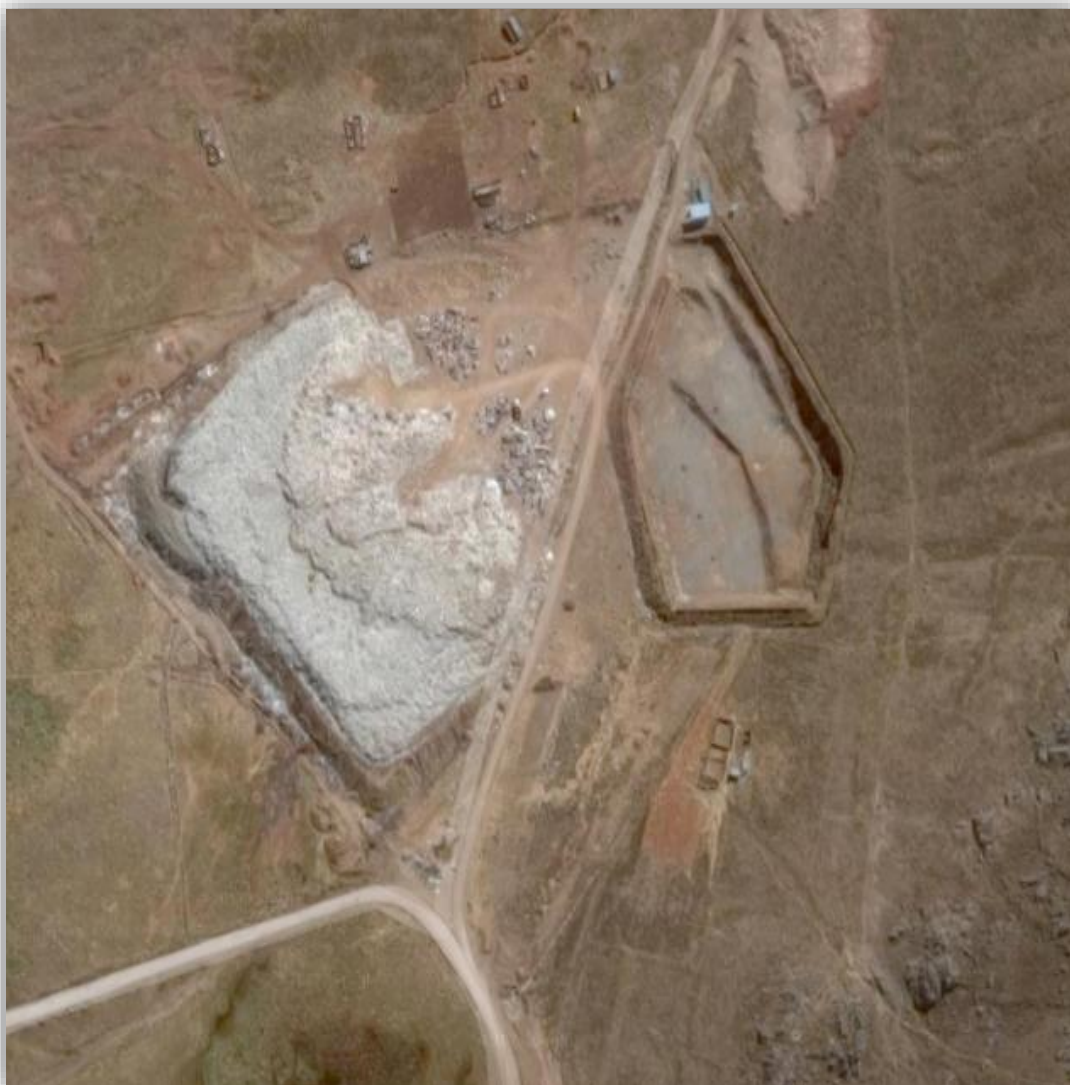
TABLA 1: Composición de Residuos Sólidos Domiciliarios Puno.

Materia Orgánica:	47.52	Metales:	3.71
Madera, follaje:	1.91	Telas, textiles:	1.30
Papel:	3.68	Caucho, cuero y jebe:	2.07
Cartón:	4.67	Pilas:	0.12
Vidrio:	6.58	Restos de medicinas, focos:	0.55
Plástico PET:	4.60	Residuos Sanitarios:	7.26
Plástico Duro:	7.42	Material inerte:	3.91
Bolsas:	3.58	Tecnopor y similares:	0.57
Otros:	0.23		

Fuente: (SIGERSOL, 2015)

3.1.3. UBICACIÓN ACTUAL DEL RELLENO SANITARIO DE PUNO.

FIGURA 4: Vista GPS del botadero de Cancharani



Fuente: (Google Maps, 2017)

La ubicación actual está a 8km de la ciudad de puno, al Sur Oeste del cerro de Cancharani a una altitud de 4000 m.s.n.m. La construcción de este vertedero antiguo data del año 1997, ocupa un área total de 10 hectáreas, con una capacidad de almacenamiento de 263,340 m³, la cual a la fecha se encuentra saturado, Entre las coordenadas UTM siguientes:

TABLA 2 Coordenadas UTM del botadero de Cancharani

N 8 242 400	E 389 500
N 8 242 400	E 390 300
N8 243 000	E 389 500
N8 243 000	E 390 300

Fuente: (googleearth, 2017)

3.1.4. RECOLECCIÓN

Tipo de residuos sólidos recolectados por el servicio municipal:

- Residuos Municipales:
- Residuos Domiciliarios
- Residuos de comercios
- Residuos de vías públicas

La recolección de residuos sólidos se realiza Diariamente, La cantidad de residuos sólidos recolectados semanalmente es de: **742.63** Toneladas, Se brinda el servicio de recolección al 70.00% de la población urbana y al 20.00% de la población rural. (Sigersol, 2015)

UNIDADES DE RECOLECCIÓN:

Compactadora:	7	Cargador frontal:	0
Camión Baranda:	1	Triciclo:	48
Volquete:	0	Motocar:	6

El Personal operativo empleado para las labores de Recolección es de 120 Personas

La municipalidad realiza la disposición final de sus residuos sólidos a través de un Botadero, El Botadero Sí está ubicado en su jurisdicción Diariamente se disponen 106.09 toneladas de residuos sólidos: El área de disposición final tiene una extensión estimada de 3.50 metros cuadrados Infraestructura y equipamiento del área de disposición final:

Caseta de ingreso: 0 Cargador oruga: 1

Balanza: 0 Carretillas:

Cargador Frontal: 0

El personal operativo empleado para las labores de disposición final son dos personas. (Sigersol, 2015)

3.1.5. ASPECTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS -2015

El Costo total del Servicio de limpieza pública asciende a S/. 5138408.00 Nuevos Soles.

Los Ingresos anuales por concepto de limpieza pública ascienden a S/. 1452897.50 Nuevos Soles.

El Nivel de morosidad por el pago del servicio de limpieza pública se estima en 17.00 %.(Sigersol, 2015)

3.2. EL BIOGÁS

3.2.1. OBTENCIÓN DEL BIOGÁS

El biogás es un combustible incluido dentro del conjunto de la biomasa, que en el caso del biogás de vertedero está constituido por un conjunto de gases formados como subproductos de la descomposición de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (FORSU) en condiciones anaeróbicas (fermentación en ausencia de oxígeno). (Pérez, 2006)

En un relleno sanitario, conocido también como vertedero controlado, la cantidad de gases producidos y su composición dependen del tipo de residuo orgánico, de su estado y de las condiciones del medio que pueden favorecer o desfavorecer el proceso de descomposición.

Los tipos de bacterias presentes en el proceso son:

- a) Las **hidrolíticas**, que producen ácido acético, de compuestos monocarbonados, ácidos grasos orgánicos y otros compuestos policarbonados.
- b) Las **acetogénicas**, productoras de hidrógeno.
- c) Las **homoacetogénicas**, que pueden convertir una cantidad considerable de compuestos multicarbonados o monocarbonados en ácido acético.
- d) Las **metanogénicas**, productoras del gas metano, principal componente del biogás, con una proporción de 40 a 70 % de metano (CH_4), de 30 a 60 % de dióxido de carbono (CO_2).

La descomposición de la materia orgánica en los vertederos controlados, que se realiza por la actividad microbiana anaeróbica, genera diversos subproductos, entre ellos el biogás. Por tanto, condiciones favorables de medio para la supervivencia de los microorganismos anaeróbicos pueden desarrollarse a temperaturas de entre 10 y 60 °C, teniendo su mejor desarrollo entre 30 y 40 °C, rango Mesofílico, o entre 50 y 60 °C, rango Termofílico. El pH entre 6.5 y 8.5 permite un buen desarrollo de los microorganismos teniendo su desarrollo óptimo entre 7 y 7.2 para el rango Mesofílico. (Esguerra, 1989)

Los componentes principales del biogás son el Metano (CH_4) y el Dióxido de Carbono (CO_2), en proporciones aproximadamente iguales, constituyendo normalmente más del 97% del mismo (Tabla 3). Ambos gases son incoloros e inodoros, por lo que son otros gases, como el Ácido Sulfhídrico (H_2S) y el Amoníaco (NH_3) los que le otorgan el olor característico al biogás y permiten su detección por medio del olfato. (Pérez, 2006)

TABLA 3: Compuesto típicos del biogás.

Componente	Porcentaje Aproximado (%)
Metano (CH_4)	45 a 60
Dióxido de Carbono (CO_2)	40 a 60
Nitrógeno (N_2)	2 a 5
Oxígeno (O_2)	0.1 a 1.0
Sulfuro de Hidrógeno (H_2S)	0 a 1.0
Amoníaco (NH_3)	0.1 a 1.0
Hidrógeno (H_2)	0 a 0.2
Monóxido de Carbono (CO)	0 a 0.2
Constituyentes en Cantidades Traza	0.01 a 0.6

Fuente: (Pérez, 2006)

En términos generales, se pueden clasificar los sustratos en cuatro clases en función de su apariencia física, nivel de dilución, grado de concentración y características cuantitativas, como el porcentaje de sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y demanda química de oxígeno (DQO), como puede apreciarse en la. (Tabla 4)

Los **sustratos de clase 1** pueden degradarse eficientemente en digestores tipo Batch o por lotes en Vertederos. (Tabla 4)

Los **sustratos de la clase 2** son degradados de manera eficiente en digestores mezcla completa de operación continua. Por presentar una dilución mayor y en consecuencia una DQO menor, los sustratos de clase 3 deben tratarse con digestores de alta eficiencia, como los de filtro anaerobio. En cuanto a los **sustratos de clase 4**, debido a su alto contenido de DQO deben ser degradados en digestores aerobios intensivos para mayor eficiencia. (Varnero y Arellano, 1991)

TABLA 4 : Clasificación de sustratos para la Digestión Anaeróbica

Características	Clase	Tipo de Sustrato	Características Cuantitativas
Sólido	1	Basura Doméstica	> 20 % ST 40-70 % Fracción Orgánica
		Estiércol Sólido	
		Restos de Cosecha	
Lodo altamente contaminado, alta viscosidad	2	Heces Animales	DQO 100-150 g/l 5%-10% ST 4%-8% SV
Fluidos con alto contenido de sólidos suspendidos (SS)	3	Heces Animales de cría y levante diluido con agua de lavado	3-17 g/l DQO 1-2 g/l SS
		Aguas residuales de mataderos	
Fluidos muy contaminados, sólidos en suspensión	4	Aguas residuales de agroindustrias	5-18 g/l DQO
		Aguas Negras	4-500 g/l DQO

Fuente: (Esguerra, 1989)

TABLA 5: Producción de biogás por tipo de Residuo

Estiércol	Disponibilidad Kg/día*	Relación C/N	Volumen de biogás	
			m³/kg húmedo	m³/día/año
Bovino (500 kg)	10.00	25:1	0.04	0.400
Porcino (50 kg)	2.25	13:1	0.06	0.135
Aves (2 kg)	0.18	19:1	0.08	0.014
Ovino (32 kg)	1.50	35:1	0.05	0.075
Caprino (50 kg)	2.00	40:1	0.05	0.100
Equino (450 kg)	10.00	50:1	0.04	0.400
Conejo (3 kg)	0.35	13:1	0.06	0.021
Excretas humanas	0.40	3:1	0.06	0.025

Fuente: (Varnero y Arellano, 1991.)

TABLA 6 : Producción de biogás a partir de residuos vegetales

Residuos	Cantidad residuo Ton/ha	Relación C/N	Volumen de biogás	
			m³/Ton	m³/ha
Cereales (paja)				
Trigo	3.3	123:1	367	1200
Maíz	6.4	45:1	514	3300
Cebada	3.6	95:1	388	1400
Arroz	4.0	58:1	352	1400
Tubérculo (hojas)				
Papas	10.0	20:1	606	6000
Betarragas	12.0	23:1	501	6000
Leguminosas (paja)				
Porotos	3.2	38:1	518	1650
Habas	4.0	29:1	608	1400
Hortalizas (hojas)				
Tomate	5.5	12:1	603	3300
Cebolla	7.0	15:1	514	3600

Fuente: (Varnero y Arellano, 1991)

TABLA 7: Valores aproximados de la relación carbono/nitrógeno de algunos residuos disponibles en el medio rural

Materiales	% C	% N	C/N
Residuos animales			
Bovinos	30	1.30	25:1
Equinos	40	0.80	50:1
Ovinos	35	1.00	35:1
Porcinos	25	1.50	16:1
Caprinos	40	1.00	40:1
Conejos	35	1.50	23:1
Gallinas	35	1.50	23:1
Patos	38	0.80	47:1
pavos	35	0.70	50:1
Excretas humanas	2.5	0.85	3:1
Residuos vegetales			
Paja trigo	46	0.53	87:1
Paja cebada	58	0.64	90:1
Paja arroz	42	0.63	67:1
Paja avena	29	0.53	55:1
Rastrojos maíz	40	0.75	53:1
Leguminosas	38	1.50	28:1
Hortalizas	30	1.80	17:1
Tubérculos	30	1.50	20:1
Hojas secas	41	1.00	41:1
Aserrín	44	0.06	730:1

Fuente: (Varnero y Arellano, 1991)

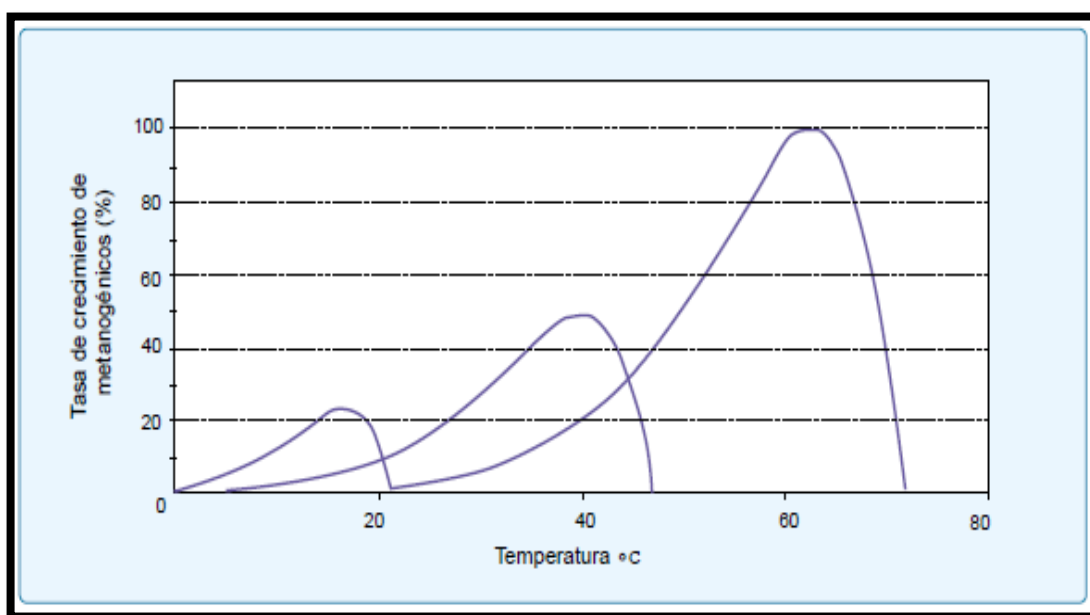
3.3. TEMPERATURA

Los procesos anaeróbicos, al igual que muchos otros sistemas biológicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que a su vez, dependen de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayores producciones de biogás.

Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos (Tabla 8): psicrófilos (por debajo de 25°C), mesófilos (entre 25 y 45°C) y termófilos (entre 45 y 65°C), siendo la velocidad máxima específica de crecimiento (μ_{max}) mayor, conforme aumenta el rango de

temperatura. Dentro de cada rango de temperatura, existe un intervalo para el cual dicho parámetro se hace máximo, determinando así la temperatura de trabajo óptima en cada uno de los rangos posibles de operación Figura 5. (Fao, 2001)

FIGURA 5 : Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicrófilicos, mesófilicos y termófilicos



Fuente: (Speece, 1996)

TABLA 8 : Rangos de Temperatura y tiempo de Fermentación Anaeróbica

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psicrófilica	4-10 °C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesófilica	15-20 °C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

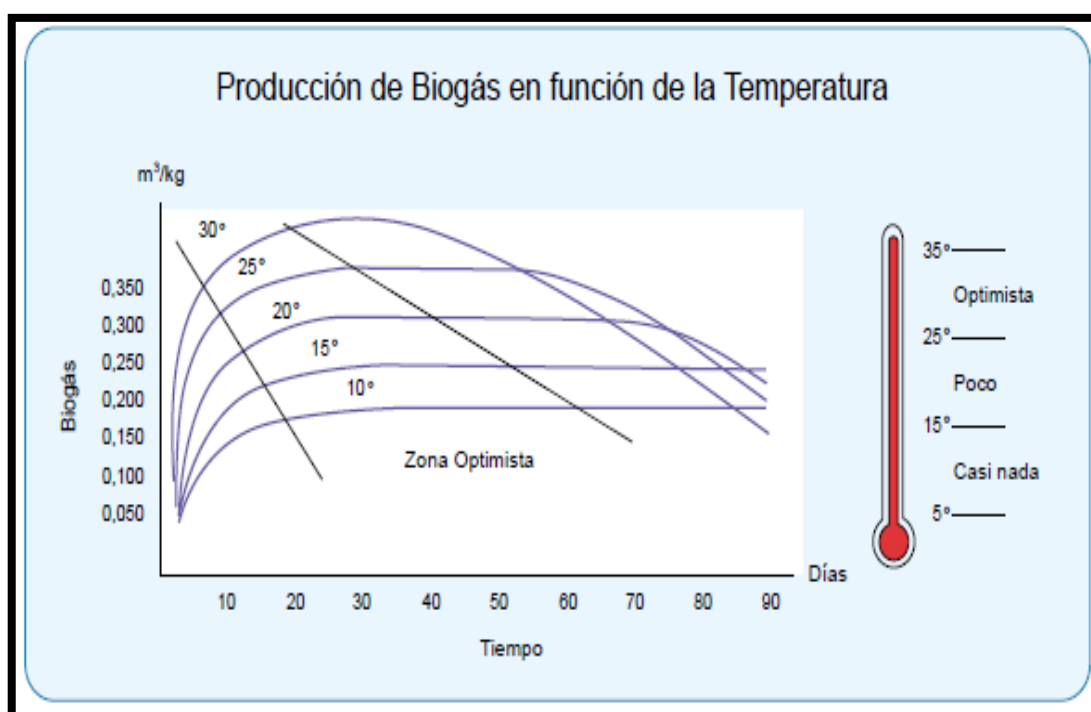
Fuente: (Lagrange, 1979)

Hasta el momento, el rango psicrófilico ha sido poco estudiado y, en general, se plantea como poco viable debido al gran tamaño del reactor necesario. Sin

embargo, presenta menores problemas de estabilidad que en los otros rangos de temperatura de operación.

El régimen mesofílico de operación es el más utilizado, a pesar de que en la actualidad se está implementando cada vez más el rango termofílico, para conseguir una mayor velocidad del proceso, lo que implica, a la vez, un aumento en la eliminación de organismos patógenos. (Lagrange, 1979)

FIGURA 6 : Producción de biogás en función de la Temperatura



Fuente: (Varnero, 1991)

3.4. pH

Cada grupo microbiano involucrado en la fermentación anaeróbica tiene una región de pH específica para su crecimiento óptimo. Para los acidogénicos el pH ideal es de 6, mientras que para los acetógenos y metanógenos es de 7. El pH es, además, un importante modulador del sistema, puesto que influye en varios equilibrios químicos, pudiendo desplazarlos hacia la formación de un

determinado componente que tenga influencia en el proceso. Por ejemplo, altos pH favorecen la formación de amoníaco libre, auténtico inhibidor de la fase metano génica. (Speece, 1996)

3.5. NUTRIENTES

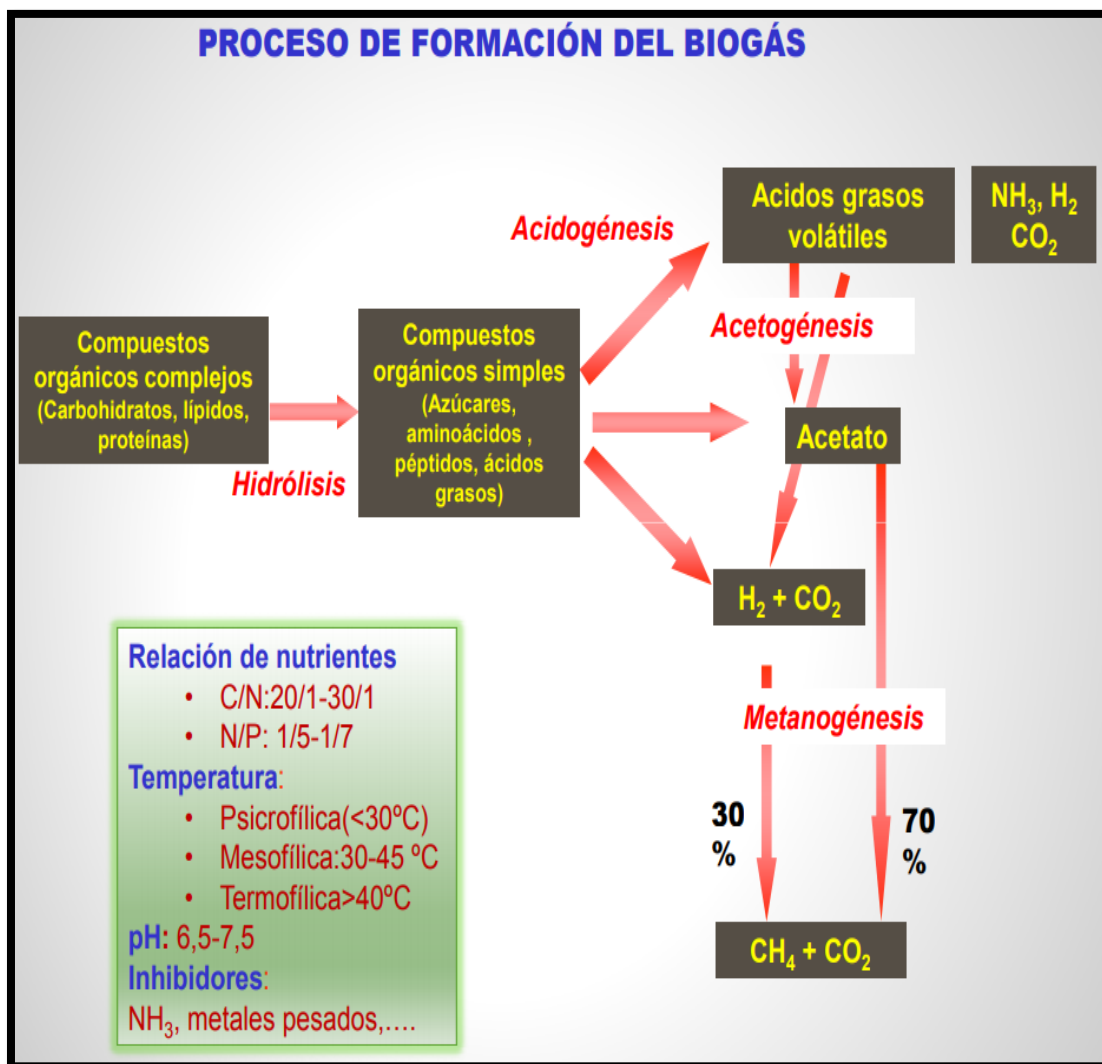
En la degradación anaerobia de RSU mixtos o mezclas de aguas residuales se puede suponer que los nutrientes necesarios y micro nutrientes están disponibles en cantidades ilimitadas. En el tratamiento de un solo residuo o algunas aguas residuales la degradación puede limitarse por la disponibilidad de nutrientes. (Speece, 1996)

3.6. TOXICIDAD

Normalmente se considera que los metanógenos son el grupo bacteriano más sensible a los tóxicos de los microorganismos implicados en la fermentación anaerobia. Sin embargo, se puede dar el caso de una aclimatación o una reversibilidad a ciertos efectos tóxicos. Algunos de estos efectos comunes en los FORSU son los asociados a la presencia de amoníaco, sulfuro de hidrógeno y ácidos grasos volátiles. La toxicidad de estos compuestos depende del pH.

Las bacterias metanogénicas son muy sensibles al oxígeno. Y es por eso que en estos cultivos en los digestores anaeróbicos hay también bacterias anaeróbicas que presentan características facultativas en la hidrólisis y en la acidogénesis, pues al presentarse oxígeno es consumido rápidamente por estos microorganismos. (Speece, 1996)

FIGURA 7 : Proceso de formación de biogás



Fuente: (García, 2011)

3.7. UBICACIÓN DEL PROYECTO.

El proyecto se ubicara a unos cuantos kilómetros del actual vertedero municipal porque el lugar es adaptable para un nuevo vertedero tratado, y para la instalación de equipos que generen electricidad a partir del biogás.

FIGURA 8: Ubicación del nuevo vertedero

Fuente: (googleearthelpu, 2015)

Ubicación del nuevo vertedero:

Latitud: 15°53'30.82"S

Longitud: 70° 2'32.64"O

3.7.1. ANÁLISIS DE TECNOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DE VERTEDERO Y SU APLICACIÓN EN LA CIUDAD DE PUNO.

Un aspecto importante en la gestión de los RSU consiste en conocer los impactos ambientales de las diferentes prácticas de gestión existentes; el constante crecimiento de puno respecto a la generación de residuos producida

en el país durante los últimos años supone que las actividades de producción y consumo están incrementando las cantidades de materiales que cada año se devuelven al medio ambiente de una forma degradada, amenazando potencialmente la integridad de los recursos renovables y no renovables. La gestión sin control de RSU posee una amplia variedad de impactos sobre el medio ambiente (**Tabla 9**) ya que los procesos naturales actúan de tal modo que dispersan los contaminantes y sustancias peligrosas en el medio ambiente según los métodos adoptados para la disposición final de los RSU.

TABLA 9 : Impactos de las Prácticas de Gestión de Residuos, realizadas de forma incontrolada sobre el Medio Ambiente

	Aire	Agua	Suelo	Paisaje	Ecosistemas	Áreas urbanas
Vertido sin control	Emisiones de CH ₄ , CO ₂ ; olores	Lixiviado de sales, metales pesados, compuestos orgánicos persistentes y biodegradables en el agua subterránea	Acumulación de sustancias peligrosas en el suelo	Ocupación del suelo; restricciones para otros usos	Contaminación y acumulación de sustancias tóxicas en la cadena alimentaria	Exposición a sustancias peligrosas

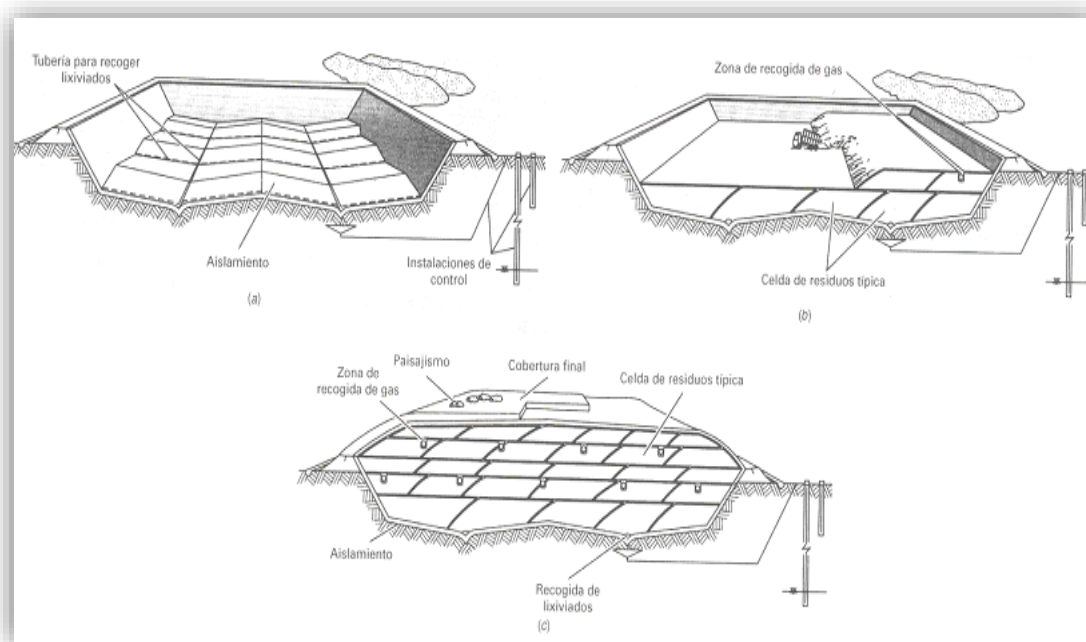
Fuente: (departamento de ordenamiento del territorio y medio ambiente, 2004)

En los vertederos sin control, la lixiviación de los residuos puede contaminar el suelo y el agua subterránea con sustancias tales como metales pesados, compuestos nitrogenados, compuestos clorados u otros compuestos orgánicos como hidrocarburos.

Los lixiviados de residuos orgánicos pueden tener altas concentraciones en amonio que pueden causar una grave contaminación de las fuentes de agua potable y la contaminación de las aguas superficiales en las áreas circundantes.

Entre los vertederos modernos existen varios tipos con distintos fines de uso, principalmente la disposición de los RSU, Véase Figura 9. En la actualidad se incentiva también el aprovechamiento de la fracción orgánica de los RSU para usos varios y entre los principales, su utilización como fuente de energía mediante su transformación en energía eléctrica o energía térmica. (Louw Wildschut, 2008)

FIGURA 9 : Vertedero moderno



Fuente: (Louw Wildschut, 2008)

La operatividad en un vertedero moderno funciona de la siguiente manera, los residuos se extienden y compactan en capas dentro de un área definida, formándose lo que se denomina célula o estructura básica. Estas células forman

una terraza y, en general, un vertedero controlado está compuesto por una serie de terrazas sobrepuestas unas con otras **(Figura 9)**.

Las dimensiones de estas células dependen de la cantidad de RSU a depositar diariamente, pero se recomienda al compactar los RSU que se alcance los 500 kg/m³ diarios para evitar problemas con el material de recubrimiento de dichas células.

Otro aspecto importante en los vertederos controlados modernos es que para la operación del vertedero se requiere de maquinaria que pueda manipular los RSU, el material de recubrimiento y maquinaria para trabajos de mantenimiento. La maquinaria dependerá de la cantidad de RSU que se tratan diariamente. Como se describía anteriormente el dato de partida para un vertedero puede ser de una densidad estimada de al menos 500 kg/m³. (Botamino, 2009)

Entre los principales Tipos de vertederos tenemos:

3.7.2. VERTEDEROS PARA RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS NO SELECCIONADOS

Son vertederos convencionales para uso exclusivo de depósito de RSU, aunque también suelen depositarse residuos industriales no peligrosos y fangos de plantas de tratamiento de aguas residuales con contenidos sólidos del 51%. Comúnmente se utiliza suelo natural o tierra como material de cubrición final o intermedio mientras llena su capacidad. Este concepto es el que actualmente se aplica en Guatemala, sin embargo, no se sigue el procedimiento de

recubrimiento, por lo que se puede decir que son vertederos a cielo abierto.
(Botamino, 2009)

3.7.3. VERTEDEROS PARA RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS TRITURADOS

Este tipo de vertederos utiliza el concepto de trituración de los RSU antes de ser colocados dentro de su sitio final, por lo que se pueden aumentar en un 35% de la cantidad de RSU almacenados con respecto a los no triturados, pues al estar compactados necesitan menos cantidad de material para cubrirlos, y un mejor control del filtrado de agua durante la operación en el relleno. Al proceder con los RSU de esta manera hace que se tenga que disponer de una planta trituradora y crea la necesidad de operar una sección de vertido convencional para los materiales que no sean fácilmente triturados. El método de la trituración de RSU tiene uso potencial en zonas donde la capacidad de los vertederos es pequeña pues al conseguir la mayor compactación tras la trituración se necesita menor material de cubrición. (Botamino, 2009)

3.7.4. OTROS TIPOS DE VERTEDEROS

En la actualidad el concepto de vertedero ha llevado a construcciones de aprovechamiento de los RSU, y de allí la intención del aprovechamiento en todo sentido, por lo que entonces se construyen vertederos según su tratamiento final con RSU como materia prima de producción. (Botamino, 2009)

3.7.5. VERTEDERO COMO UNIDADES DE TRATAMIENTO INTEGRAL

En este tipo de vertedero los compuestos orgánicos se separan y se colocan en un vertedero apartado, en donde se intensifican las tasas de biodegradación incrementando el contenido de humedad de los residuos, mediante lixiviado o

mediante siembra de fangos digeridos de plantas de tratamiento de aguas residuales o con estiércol de animales. El material degradado se recupera utilizándose como material de cubrición en zonas nuevas de relleno y la celda excavada se rellenaría con nuevos residuos. (Botamino, 2009)

3.7.6. VERTEDEROS DISEÑADOS PARA MAXIMIZAR LA PRODUCCIÓN DE GAS

Este tipo de vertederos funcionan maximizando el gas producido tras la información descrita a principios de éste capítulo, por medio de recuperación de la fermentación anaerobia de la fracción orgánica de los RSU. Para este tipo de vertederos se implementan celdas profundas individualmente recubiertas, en las que se depositan los residuos sin capas intermedias de material de cubrición y se recibe el lixiviado para intensificar el proceso de fermentación y obtener biogás para su utilización posterior. (Botamino, 2009)

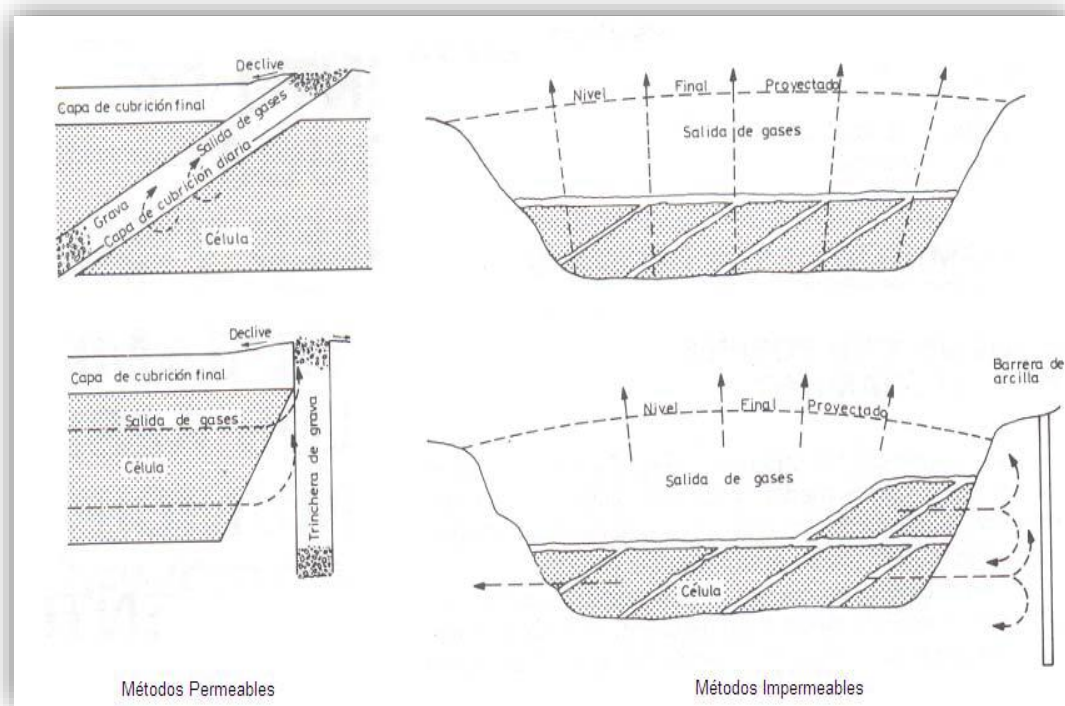
3.7.7. NORMAS PARA LA INSTALACIÓN DE UN VERTEDERO CONTROLADO

Deben de adoptarse al menos cuatro normas básicas, como:

- **Contaminación del agua;** se debe prever antes de la puesta en funcionamiento del vertedero la elección de un emplazamiento geológicamente adecuado, una instalación de drenaje para todos los líquidos que circulan en el vertedero y una instalación de tratamiento o evacuación de lixiviados.

- **Asentamiento;** la fermentación de los RSU reduce gradualmente el volumen de los mismos, lo que crea descensos en la superficie de los vertederos. El asentamiento depende del tipo de residuo, de su grado de compactación y del tipo de fermentación.
- **Producción de gases;** la viabilidad de un vertedero está condicionada al control del movimiento y disipación de los gases producidos, para lo que actualmente se controla mediante tuberías o pozos extractores del biogás para su utilización posterior y se controla mediante drenajes permeables o barreras impermeables, como se muestra en la Figura 10. (Botamino, 2009)

FIGURA 10: Control permeable e impermeable de gases de vertedero



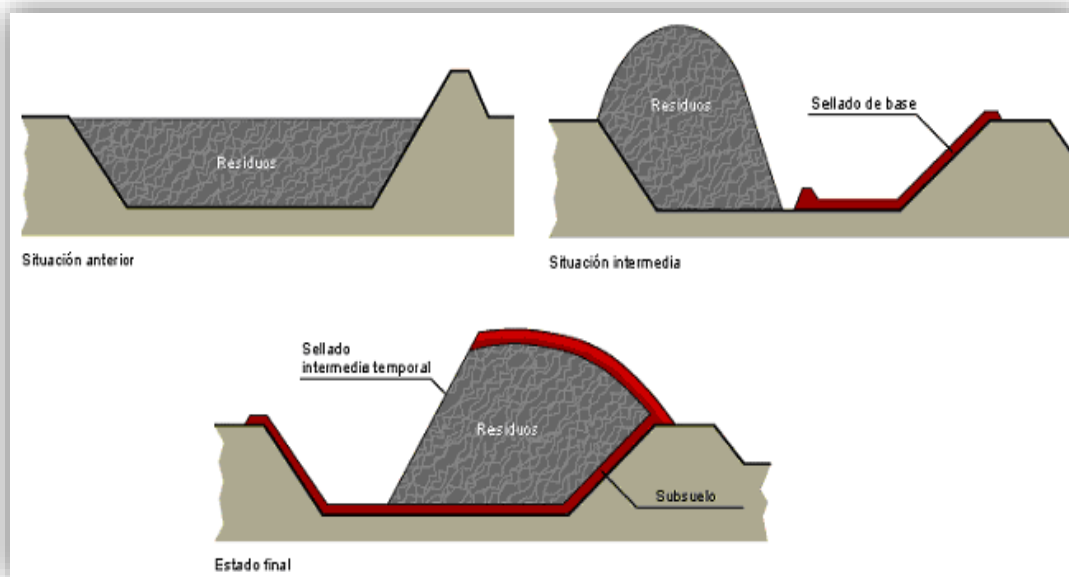
Fuente: (Técnicas energéticas especiales, 1989)

3.7.8. POSIBLE TÉCNICA RECUPERACIÓN DEL VERTEDERO DE CANCHARANI

Para la técnica de recuperación del vertedero de Cancharani se pone como ejemplo la técnica de recuperación que se utilizó en la ciudad de Guatemala: la particularidad del vertedero principal de la Ciudad de Guatemala es la característica más común a nivel del país y de la región Centroamericana, y que está a cielo abierto. La lluvia juega un papel importante, pues penetra en los materiales vertidos y disuelve los contaminantes. Y éstos afectan a su vez a las aguas subterráneas. Ésta es una de las razones por la que hoy en día todos los vertederos de Residuos Sólidos Urbanos deberían de estar sellados de forma efectiva en su superficie y en su base.

Exactamente ésta sería la tarea a realizar en éste sitio que no se adapta a las normativas higiénicas de vertido actualmente administrado por la Municipalidad de Guatemala.

Para la recuperación de un vertedero ya existente se procede a trasladar la masa de vertidos a una parte del vertedero antiguo, por lo que aún se puede seguir recolectando RSU en la fase de reestructuración, se instala un sellado de base en forma cónica con lo que se recuperan los lixiviados a través de un único pozo (Figura 11). (Botamino, 2009)

FIGURA 11: Recuperación de vertedero existente

Fuente: (Gonzales, 1997)

En una primera fase, se instala el sellado de base, luego se traslada toda la masa de vertidos hacia la zona sellada formando una colina que se cubre con un sistema de sellado de superficie. En la ladera hacia la zona actualmente en explotación se instala un sellado intermedio temporal. Los lixiviados producidos en la zona actualmente en explotación son evacuados mediante una capa mineral de drenaje hacia un pozo central de lixiviados de donde son bombeados a la planta de tratamiento que debe ser instalada en terrenos cercanos.

Para minimizar la producción de lixiviados se desarrolla un sistema específico de explotación en la cual la parte activa del vertedero es protegida contra la infiltración de lluvia mediante un sellado temporal y un sistema de recogida de pluviales lo que permite minimizar los costos para el tratamiento de lixiviados. El tratamiento de los RSU en un vertedero controlado debe de realizarse a partir de la construcción de una planta de aprovechamiento del biogás; en donde los residuos son tratados previamente mediante trituración hasta un tamaño de

partículas de aproximadamente 7 a 15 cm, separándose los materiales inorgánicos, como metales mediante separadores magnéticos y metales y vidrio mediante cedazos. El material resultante entra en un clasificador de aire, donde se recupera la fracción de materia orgánica más ligera, mientras que la pesada pasa a un recuperador antes de ser reciclada. (Botamino, 2009)

FIGURA 12: Esquema básico de funcionamiento de una central de biomasa



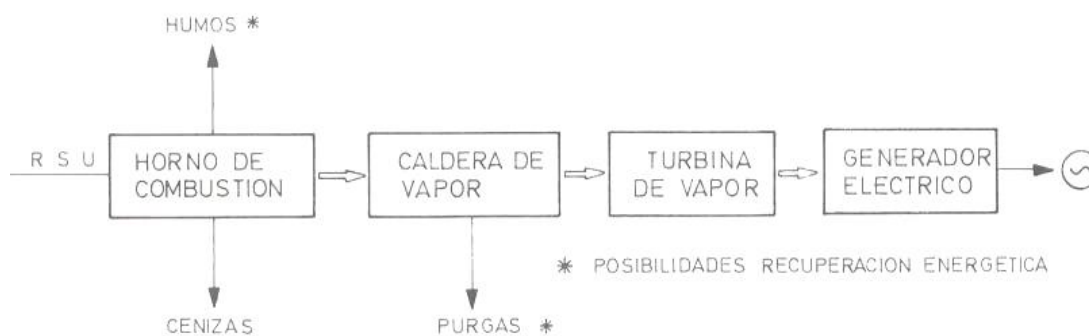
Fuente: (García, 2013)

3.7.9. APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL BIOGÁS EN VERTEDEROS

La descarga de RSU en vertederos debe de ser controlada para que se obtenga el mayor provecho, de forma que facilite su explotación energética. Al mismo tiempo que se depositan los residuos, se puede extraer el biogás producido. El tiempo de descomposición en los vertederos depende de factores como la permeabilidad del material de recubrimiento (tierra u otro), profundidad, contenido de humedad, putrescibilidad de los residuos y grado de compactación.

Se puede aprovechar los RSU por medio de incineración, en un sistema de cogeneración, como se muestra en la Figura 13,14. (Botamino, 2009)

FIGURA 13 : Esquema de aprovechamiento energético de rsu



Fuente: (Técnicas energéticas especiales, 1986)

3.8. UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (FORSU)

3.8.1. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE FORSU

Se puede usar una parte de la biomasa (fracción) orgánica de los residuos sólidos urbanos para generar biogás que puede producir energía eléctrica y/o para otros usos.

- Calor y vapor: Pueden ser el producto principal en la aplicación de calefacción y cocción, o puede ser un subproducto de la generación de electricidad en ciclos combinados de electricidad y vapor.
- Combustible gaseoso: El biogás producido puede ser utilizado en motores de combustión interna (MCI) para generación eléctrica, para la calefacción y acondicionamiento en el sector doméstico, comercial e institucional y en vehículos modificados.

- Generación de electricidad: La electricidad generada a partir del FORSU puede ser comercializada con el término de energía verde ya que está considerado en el grupo de “Energías Renovables”.

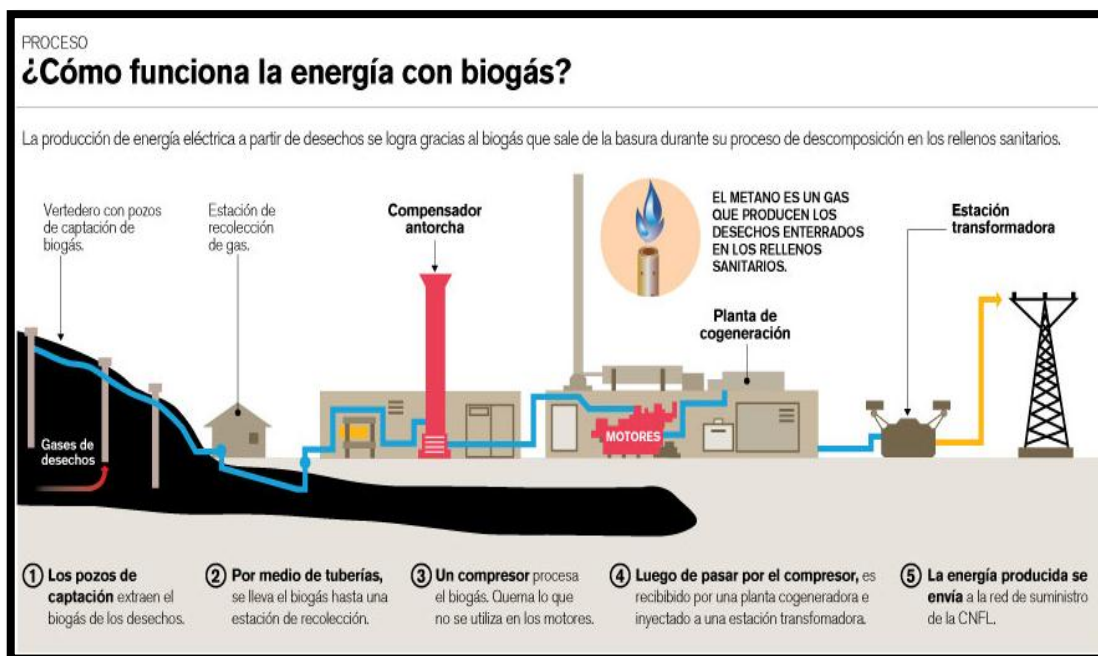
Incluso el biogás puede conectarse o integrarse a un sistema de distribución del gas natural, una planta de llenado de gas, grifos, etc.

El Biogás es utilizado comúnmente para cocinar, por medio de combustión directa en cocinas simples, también en calefacción e iluminación, también es utilizado en motores de combustión interna para generación de electricidad en reemplazo de revidados del petróleo como la gasolina y el diésel.

De acuerdo a lo expuesto en el capítulo anterior la composición del biogás y sus características hace de este un excelente combustible para ser utilizado en turbinas o máquinas de combustión interna que accionen generadores eléctricos. El proceso de la generación de energía en un vertedero controlado comienza con la extracción del biogás a través de pozos verticales perforados en toda la extensión del vertedero controlado. Mediante la instalación de una red superficial de tuberías (**Figura 14**), el biogás es conducido hasta una estación donde se le quita la humedad y otras sustancias indeseables, como el H_2S . Este compuesto al reaccionar con agua se convierte en ácido sulfúrico (H_2SO_4), que es altamente corrosivo y puede ocasionar graves daños en el sistema mecánico en los motores de combustión interna (MCI). Esto se realiza a través de un sistema de lavado de gases con sustancias como la cal viva, limaduras de hierro o ciertos tipos de tierras conocidas como hematites parada o limonita, ricas en sustancias ferrosas. Todas estas operaciones se realizan con el fin de purificar el biogás y

tener una combustión limpia e eficiente y a la vez cuidar nuestro sistema de Generación Eléctrica. (Pérez, 2006)

FIGURA 14: Generación de electricidad en un vertedero controlado



Fuente: (Gonzales, 1997)

La producción del biogás se aprovecha para la alimentación de la propia central para sus diferentes instalaciones, otras opciones para utilizar el biogás se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 10: Opciones de uso potencial de biogás

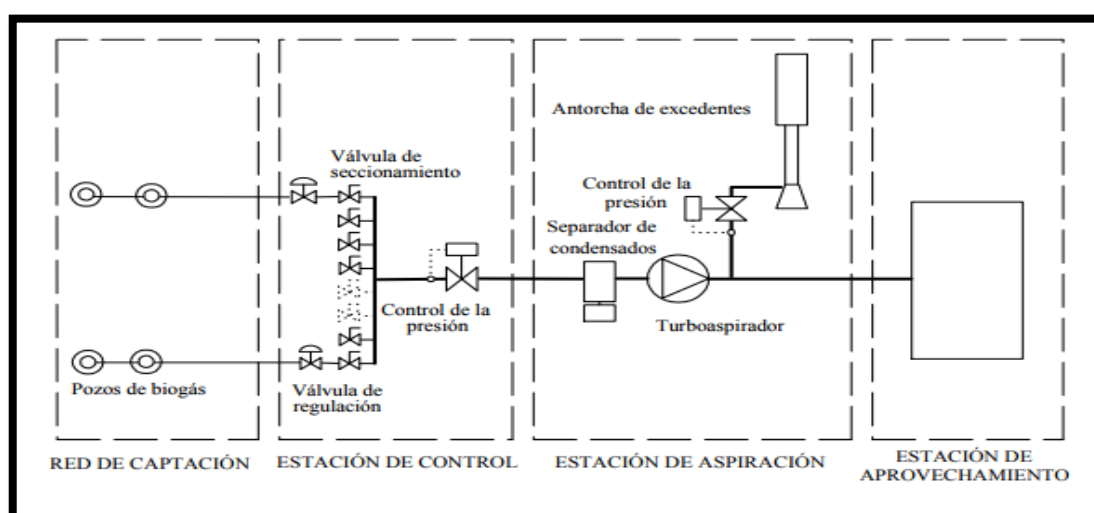
Alternativa	Aplicación
Generación Eléctrica	Conectado al SEIN, líneas de distribución MT, BT
Combustión Directa	Cocinas, Iluminación
Calderas/hornos	Para usos Especiales
Refrigeración	Enfriamiento

Elaboración: Propia

3.8.2. PROCESO DE DESGASIFICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

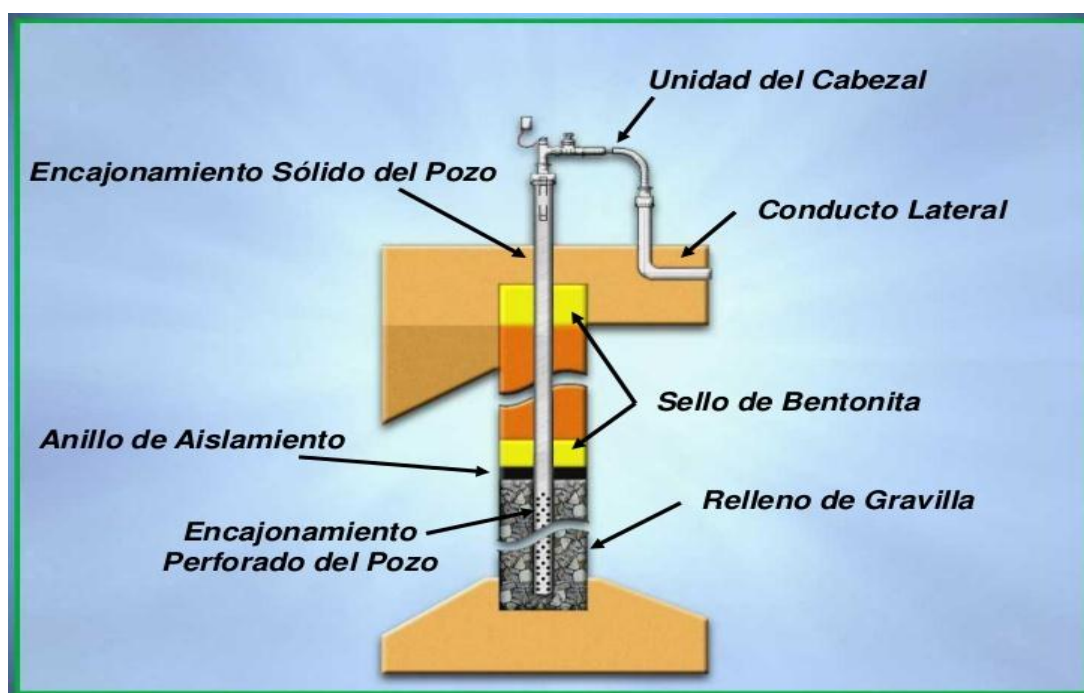
Se debe de tener mucho cuidado en el manejo del biogás desde el vertedero controlado, la captación debe ser regulada y controlada para evitar situaciones de peligro en su aprovechamiento y captación. El aprovechamiento del biogás requiere su captación y su envío en las condiciones de presión, temperatura, composición y humedad necesarias para su utilización en las diferentes instalaciones de la central, motores y generadores. (Gonzales, 1997)

FIGURA 15: Sistema de recuperación de biogás



Fuente: (Gonzales, 1997)

Para este aprovechamiento es necesario disponer de pozos de captación de biogás, perforaciones realizadas mediante sondas de material calibrado, tubería perforada de polietileno y material impermeabilizante, para conseguir un radio de influencia máximo, de forma que se consiga captar la mayor cantidad de biogás, sin provocar la entrada de aire en el depósito. (Gonzales, 1997)

FIGURA 16: Pozo de extracción vertical

Fuente: (López, 2010)

La construcción y el funcionamiento de los pozos de captación depende del radio que posean debido a la depresión que se aplique a cada pozo, al sellado circundante y a la profundidad, que depende de la altura del residuo acumulado en los puntos de perforación y características de la masa a perforar.

La conducción del biogás producido y captado debe de realizarse mediante tuberías de polietileno de alta densidad, de pared ciega para evitar la entrada de aire. El espesor de estas tuberías se tiende a sobredimensionar para aumentar el grado de seguridad de la instalación. Es común para éste tipo de instalaciones utilizar tubería PN6 (de presión de trabajo a 6 bares), aun cuando en la conducción o transporte del biogás se realice en milibares.

Cada pozo debe de conectarse a una única línea de conducción y cada línea se conecta a dos pozos; el extremo de ésta conexión va hacia las entradas de la estación de regulación y medida; esta estación es el elemento clave para la

adecuada captación del biogás ya que en ella se habrán de tomar las muestras del gas conducido por cada una de las líneas, se deberá analizar y, en función de las características de este gas, se deberá ajustar la aspiración en cada línea.

El funcionamiento de la estación de regulación de captación de biogás se describe a continuación: cuando el biogás captado por el pozo tiene una concentración de Metano - CH_4 inferior a la deseada, se cierra parcialmente la válvula de regulación correspondiente, de forma que la depresión que se tienen en el pozo disminuye y hace que disminuya el caudal de biogás captado. En caso que el biogás captado tenga un porcentaje mayor al deseado, se aumenta la captación en el pozo.

En la estación de regulación se obtienen muestras y medidas del biogás capturado del cual se analiza la concentración de oxígeno en el gas con el fin de detectar posibles filtraciones de aire en el sellado o en las líneas de conducción

La estación de regulación se conecta con la estación de extracción, en esta estación se disponen los soplantes que ponen en depresión a toda la red de captación de biogás y a su vez lo impulsa hacia el grupo Motor – Generador.

Para evitar cambios bruscos en el sistema de conducción del caudal de gas extraído hacia los grupos de generación y para asegurar la combustión correcta del biogás captado; se emplean dos sistemas simultáneamente:

1. **Un gasómetro**, en él se almacena el biogás, además de realizar la función de amortiguar las puntas de producción y puntas de consumo.

2. **Una antorcha**, que quema el exceso de biogás captado y que en dicho momento no puede ser consumido en los grupos generadores, ni almacenado en el gasómetro.

Es importante que la antorcha sea flexible en cuanto al caudal admitido y que permita su funcionamiento con un caudal muy bajo, pues al hacer la función de amortiguador en el caudal del gas debe de trabajar más rápidamente que el gasómetro. Si el caudal quemado en la antorcha se alarga durante un tiempo determinado, el sistema debe rebajar el caudal captado del vertedero, haciéndole trabajar parcialmente como un gasómetro.

Una vez captado y extraído el biogás de una forma controlada, se procede a su aprovechamiento en forma de combustible en el grupo Motor – Generador para la producción de energía eléctrica. (Pérez, 2006)

3.8.3. EQUIPOS

Dentro de las instalaciones de una central eléctrica de biogás se tiene los siguientes equipos y/o componentes (Figura 15, página 47).

Red de captación de biogás: Encargadas de la captación de biogás y su respectiva conducción a la estación de regulación y medida, compuesta de pozos de captación y líneas de conducción desde los pozos de captación.

1. **Estación de Control** : Esta instalación permite mediante la regulación de la depresión aplicada a cada línea, obtener el biogás producido, compuesta por los siguientes equipos:

- Equipos Mecánicos.

- Equipos de control y medida.
- Equipos auxiliares.

2. Central de Extracción y/o Aspiración: En esta instalación tenemos varios componentes :

- **Central de Extracción :** Se encarga de poner en depresión todos los elementos antes mencionados y enviar el biogás hacia la zona de valorización está compuesto por elementos Electromecánicos
- **Colector General:** Es la conducción que transporta el biogás desde la central de extracción hasta los puntos de consumo se compone de la tubería de gas.
- **Central de Control:** En ella se analizan secuencialmente las diferentes muestras a estudiar, se compone de armario de Control y Potencia, central de Análisis.
- **Antorcha:** Para la combustión del excedente de biogás que no se consume en los motores, generadores.

3. Estación de Aprovechamiento: En esta instalación tenemos el sistema encargado de transformar el biogás en energía eléctrica, para poder conectarla al SEIN.

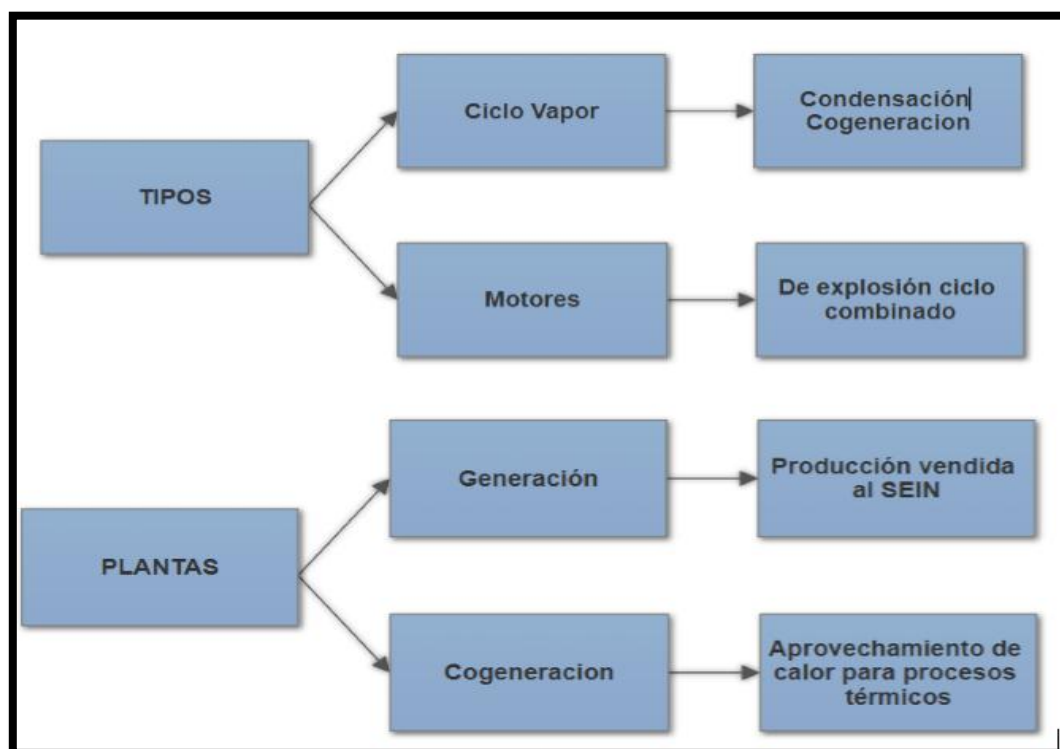
3.8.4. ASPECTOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DEL BIOGÁS.

Para transformación de la biomasa en electricidad tenemos dos tipos:

- Combustión de la biomasa, para producción de un fluido (vapor), en donde su contenido en energía térmica se transforma en energía mecánica por medio de una turbina.

- Transformación de la biomasa, mediante procesos bioquímicos, biogás o termoquímicos (pirólisis, gasificación), la biomasa se transforma en un combustible que puede ser empleado en MCI o en diferentes turbinas de gas.

FIGURA 17 : Esquema Generación Eléctrica con biomasa



Elaboración: Propia

La producción eléctrica puede realizarse en instalaciones dedicadas a este fin, como en centrales eléctricas de diferentes tipos, o asociarse a industrias que se dedican a actividades que puedan consumir el calor residual, como es el caso de las plantas de cogeneración.

3.9. CÁLCULO DE BIOGÁS GENERADO POR EL VERTEDERO Y CAPACIDAD DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A INSTALAR.

3.9.1. CÁLCULO DE EMISIÓN DE LOS PRINCIPALES GASES DEL BIOGÁS CH₄ Y CO₂.

Estimación de CH₄, Ejemplo práctico de (HIOBE 2005), Guía técnica para la medición, Estimación y Calculo de las Emisiones al Aire.

Con la siguiente Ecuación 1, se puede realizar el cálculo de emisiones, la estimación de generación de biogás generado en un vertedero.

$$Q_{CH_4} = L_o * R * (e^{-k*C} - e^{-k*T}) \dots \dots \dots (Ec.1)$$

En donde se tiene:

L_o = potencial de generación de Metano en (m³/Tn de RSU vertida).

R = media anual de RSU en Tn/año

K = Ratio de generación de Metano (1/año)

C = tiempo desde la clausura del vertedero en años

T = tiempo desde la primera deposición de basura en años

Cálculo de L_o:

L_o depende de la fracción orgánica de los RSU y de la humedad; el valor puede variar entre los siguientes valores de CH₄: 6.2 y 270 m³/Tn de RSU.

Para la estimación del potencial de generación de CH_4 se procede con la Ecuación 2.

$$L_o = \text{DOC} \cdot \text{DOCf} \cdot 16/12 \cdot F \cdot \text{MCF} \dots \dots \dots (\text{Ec.2})$$

En donde se tiene:

DOC = Fracción de carbono orgánico degradable en la basura, procediendo de la siguiente forma, Ecuación 3.

$$\text{DOC} = 0.4 \cdot (\% \text{ papel y textiles}) + 0.17 \cdot (\% \text{Orgánicos procedentes de jardines}) + 0.15 \cdot (\% \text{Orgánicos de comida general}) + 0.38 \cdot (\% \text{madera}) \dots \dots \dots (\text{Ec.3})$$

DOCf = porción de DOC que se convierte a gas, según Ecuación 4.

$$\text{DOCf} = 0.014 \cdot T + 0.28 \dots \dots \dots (\text{Ec. 4})$$

Donde:

T es la temperatura en la zona anaeróbica que se considera como 35°C .

F = fracción de CH_4 en el gas gestionado, considerado como 0.5.

MCF = cantidad de CH_4 en el biogás, teniéndose los siguientes valores:

- Para vertederos gestionados se considera con valor = 1
- Para vertederos no gestionados de profundidad menor de 5m se considera con valor = 0.4
- Para vertederos no gestionados y más profundos se considera el valor = 0.8

Cálculo para R:

Para realizar el cálculo de la media anual de RSU vertida, se procede con la Ecuación 5.

$$R = \frac{\text{Capacidad del Vertedero}}{\# \text{ Años de funcionamiento}} \dots \dots \dots \text{(Ec. 5)}$$

Si la capacidad del vertedero se desconoce, pero se conocen sus dimensiones se calcula como sigue, Ecuación 6.

$$\text{Capacidad} = A \times B \times C \dots \dots \dots \text{(Ec. 6)}$$

A: área de vertedero. , B = profundidad del vertedero. , C= densidad de rsu.

Se puede estimar la densidad de la basura de acuerdo a valores estándar, como sigue:

- Basura compactada: 653 –831 kg/m³
- Basura degradada o asentada: 1,009 – 1,127 kg/m³
- Si se desconoce si ha sido compactada: 688 kg/m³

En caso que el vertedero reciba materiales no degradables éstos no deberán de considerarse en R. Se entiende como materiales no degradables el cemento, ladrillo, piedra, plástico, vidrio, metales y yeso.

Cálculo de K:

El ratio de generación de CH₄ depende de la humedad, Ph, temperatura, entre otros factores medioambientales, así como de la operación del vertedero.

Actualmente se poseen valores estimados determinados por distintas fuentes los cuales se representan en la tabla 11:

TABLA 11 : Valores estimados por epa para las constantes.

Valores Estimados	EPA	NPI	IPCC
Lo (m ³ /Tn RSU)	100	79	100-200
K(1/año)	0.04 Clima lluvioso	0.058	0.004 – 0.4
	0.02 Clima seco		

Fuente: (HIOBE, 2005)

EPA: US Environmental Protection Agency.

NPI: National Pollutant Inventory (Australia).

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change.

Para realizar los cálculos de emisiones de gas, se tomaran los valores de k de la EPA (US Environmental Protection Agency), teniendo en cuenta el clima de la zona:

- 0.04 para áreas de tiempo lluvioso (más de 635 l de agua/m² al año)
- 0.02 para áreas de tiempo seco (menos de 635 l de agua/m² al año)

Cálculo de C:

El tiempo de la clausura del vertedero deberá de estar en años.

Cálculo de T:

El tiempo desde la primera deposición de los RSU deberá de tomarse en años.

Estimación de CO₂

Una vez estimada la emisión de CH₄, se puede determinar la emisión de CO₂, teniendo en cuenta la composición del biogás. De acuerdo a la tabla 3, página 37 Compuesto Típicos del biogás.

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4} * 40/55 \dots \dots \dots (Ec.7)$$

Para calcular las emisiones no controladas de compuesto "p" en un vertedero en kg/año se calcula de la ecuación 8. Esta ecuación es necesaria para poder calcular las emisiones controladas en un vertedero.

$$UM_p = \frac{QP * MW_p * 1atm}{(8.205 * 10^{-5} m^3 atm/gmol \text{ } ^\circ k) (1000g/kg)(273 + T^\circ K)} \dots (Ec. 8)$$

En donde:

UM_p = emisión del contaminante p no controlado, kg/año

MW_p = peso molecular de p, g/mol.

Q_p = rato de emisión de p, m³/año.

T = temperatura del vertedero, °C (si se desconoce, se considera T = 25°C)

Para vertederos de RSU con sistemas de control por combustión como por ejemplo motores de combustión interna, se puede hacer los siguientes cálculos para obtener las emisiones controladas de los contaminantes, CH₄, CO₂, Dióxido de Nitrógeno (NO₂).

Por lo que, para el cálculo de las emisiones controladas de CH_4 , se debe de estimar la eficiencia del sistema de recogida del gas. Las eficiencias de los sistemas de recogida, pueden ir desde 60 a 85%, con una media del 75%, pero estas eficiencias las deberá proporcionar el fabricante del equipo. Además se debe tomar en cuenta la eficiencia de los sistemas de control, la cual también las deberá dar el fabricante.

Entonces para el CH_4 se calcula de acuerdo a la Ecuación 9.

$$CM_{CH_4} = [UM_{CH_4} * (1 - \frac{ncol}{100})] + [UM_{CH_4} * \frac{ncol}{100} * (1 - \frac{ncnt}{100})] \dots (Ec. 9)$$

En donde:

CM_{CH_4} =emisiones controladas del CH_4 , kg/año.

UM_{CH_4} = emisiones no controladas de CH_4 , kg/año.

n col = eficiencia de recogida de gas.

n cnt = eficiencia del sistema de control.

Para el cálculo de las emisiones de CO_2 , las cuales incluyen el CO_2 componente del biogás y un CO_2 adicional, este formato durante la combustión del biogás.

Entonces para el CO_2 , se calcula a partir de la Ecuación 10.

$$CM_{CO_2} = UM_{CO_2} + [UM_{CH_4} * \frac{ncol}{100} * 2.75] \dots \dots \dots (Ec. 10)$$

En donde:

CM_{CO_2} = emisiones controladas de CO_2 kg/año.

UM_{CO_2} = emisiones no controladas de CO_2 , kg/año.

UM_{CH_4} = emisiones de no controladas de CH_4 , kg/año.

n_{col} = eficiencia de recogida de gas.

2,75 = ratio del peso molecular de CO_2 y CH_4 .

El dióxido de nitrógeno (NO_2), es un dato que a veces se dispone en las garantías del fabricante del equipo de control. Si no es así, entonces se puede utilizar la tabla 12 de factores de emisión:

TABLA 12: Factores de emisión de emisión de NO_2 , según distintos sistemas de control.

Sistemas de control	Contaminante	Kg./ $10^6m^3 CH_4$
Llama	NO_2	650
Motor de Combustión interna		4,000
Caldera/turbina de vapor		530
Turbina de gas		1,400

Fuente: (IHOBE, 2005)

3.9.2. CÁLCULO DE EMISIONES, PARA EL RELLENO SANITARIO DE CANCHARANI DE LA CIUDAD DE PUNO.

Utilizando los datos de las diferentes tablas y ecuaciones del ejemplo anterior podemos calcular la producción de biogás generado por el botadero (relleno sanitario) de Cancharani.

- Para realizar el cálculo se procede con la ecuación 1.

Determinando el potencial de generación CH_4 , L_o .

Determinando la fracción de carbono orgánico degradable en los RSU, con la ecuación 3.

$$\text{DOC} = 11.713$$

Determinando la porción de DOC que se convierte en biogás, con la ecuación 4.

T: 35° temperatura de la zona anaeróbica.

$$\text{DOC}_f = 0.77$$

Si $F = 0.5$, estimado para el vertedero y $\text{MCF} = 0.8$, para vertederos no gestionados y más profundos a 5 metros.

$$L_o = 4.81 \text{ m}^3/\text{tn}$$

Determinando la media anual de la basura, con la ecuación 5.

Determinando la capacidad del vertedero, debido a que la profundidad se desconoce exactamente se toma un dato mínimo de profundidad de 500 m. para estimar la capacidad, con la ecuación 6.

$$\text{Capacidad} = 3,027.00 \text{ tn}, \text{ Capacidad} = 5,045.00 \text{ tn/h}$$

Ahora calculamos con la ecuación 5.

$$R = 252,250.000 \text{ tn/año}$$

Si k se considera para un clima regular lluvioso según $E_p = 0.4$ y C se considera $= 0$

$C = 0$, porque nunca se clausuro el botadero.

$T = 20$ años, el botadero de Cancharani empezó su funcionamiento en 1997.

Ahora, calculamos con la ecuación 1 las emisiones.

$$Q_{CH_4} = 667,327,375 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$Q_{CH_4} = 76,179 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Una vez calculado la emisión de CH_4 , se procede a calcular la emisión CO_2 según la ecuación 7.

$$Q_{CO_2} = 485,147,001.077 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$Q_{CO_2} = 55,382.007 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Para una producción total de biogás de:

$$Q_{CH_4} = 131,560 \text{ m}^3/\text{h}$$

Asumiendo que la eficiencia del sistema de recogida de gas puede tener una media caudal de 70%

$$Q_{CH_4} = 53,325 \text{ m}^3/\text{h}$$

Con este dato último se seleccionó el siguiente equipo:

La planta eléctrica **econogas** a biogás **de** 65 KW en potencia continua. Funciona como planta de transferencia manual, automática, en sincronía y/o en paralelismo. Equipada con un tablero multifuncional que permite el control y

protección de parámetros importantes del motor y el generador, como lo son: temperaturas, presión de aceite, R.P.M., voltaje, frecuencia, amperaje, horómetro, historiales de eventos, etc.

Que tiene un consumo a plena carga de **60** m³/hr.

Las especificaciones técnicas de este motor están en el Anexo 1 Y 2.

Para esta potencia se selecciona un transformador de potencia de las siguientes características para poder elevar nuestra potencia y así poder conectarla a la red de media tensión de Electro Puno.

Seleccionamos un transformador de potencia de la Empresa ABB de 75kva para poder conectarla a la red eléctrica de media tensión. Las características del transformador están en el anexo 2 Y 3.

Si este grupo posee la capacidad de 65kw entonces la capacidad instalada sería la misma. Por lo que se puede contemplar que instalar al principio un primer equipo y posteriormente un segundo grupo con un vertedero mejor tratado y controlado para mejorar la captación de biogás y con un transformador de potencia de 65kva para poner conectarnos a la red de media tensión de Electro Puno.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

La producción de biogás del botadero de Cancharani se calcula con la ecuación 7:

$$Q_{CH_4} = 131,560 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ metano.}$$

Asumiendo que la eficiencia del sistema de recogida de gas puede tener una media caudal de 70%

$$Q_{CH_4} = 53,325 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ metano.}$$

Con este dato último se seleccionó el siguiente equipo:

La planta eléctrica **econogas** a biogás **de** 65 KW en potencia continua. Funciona como planta de transferencia manual, automática, en sincronía y/o en paralelismo. Equipada con un tablero multifuncional que permite el control y

protección de parámetros importantes del motor y el generador, como lo son: temperaturas, presión de aceite, R.P.M., voltaje, frecuencia, amperaje, horómetro, historiales de eventos, etc.

Que tiene un consumo a plena carga de **60** m³/hr.

Las especificaciones técnicas de este motor están en el Anexo 1 Y 2.

Para esta potencia se selecciona un transformador de potencia de las siguientes características para poder elevar nuestra potencia y así poder conectarla a la red de MT de ELPUNO.

Seleccionamos un transformador de potencia de la Empresa ABB de 75kva para poder conectarla a la red eléctrica de media tensión. Las características del transformador están en el anexo 2 Y 3.

Si este grupo posee la capacidad de 65kw entonces la capacidad instalada sería la misma. Por lo que se puede contemplar que instalar al principio un primer equipo y posteriormente un segundo grupo con un vertedero mejor tratado y controlado para mejorar la captación de biogás y con un transformador de potencia de 65kva para poder conectarnos a la red de media tensión de Electro Puno.

Comparando nuestros nuevos resultados con la tesis Mario Fernando Pérez Rosales, 2006 – Producción de energía Eléctrica a Partir de Biogás Procedente de vertederos de Residuos sólidos Urbanos es el siguiente:

TABLA 13: Comparación de producción Vertedero de la tesis mencionada y la nuestra.

Guatemala (botadero Trébol)		Puno (botadero Cancharani)	
Capacidad Tn del vertedero	22,702,500	Capacidad Tn del vertedero	3,027,000
R (Tn/año)	1,135,125	R	252,250,000
QCH4	483.36 m3/h	QCH4	76,179 m3/h
QCO2	351.33 m3/h	QCO2	55,383 m3/h
Biogás total	838.41 m3/h	Biogás total	131,560 m3/h
1 Generador	720 kw	1 Generador	65kw

Elaboración: Propia

Estos resultados obtenidos de la tabla 13, nos muestra la gran diferencia que existe en producción de biogás en vertederos gestionados y de mayor producción de rsu comparando nuestra producción de biogás y rsu , la diferencia es muy grande aun, es por eso que es recomendable la producción de biogás en biodigestores, en pequeña escala para poder instalar en viviendas, comunidades a donde no llega el tendido eléctrico o zonas de extrema pobreza como un plan piloto y así poder mejorar las condiciones de vida de las personas que más lo necesiten , ya que la instalación de estos biodigestores y el mantenimiento son sencillos y económicos .

Los resultados obtenidos de nuestra tesis, no muestra que la producción de biogás del vertedero de Cancharani, es muy baja se recomienda que los municipios del departamento de Puno gestionen un proyecto para poder producir biogás en un solo Vertedero gestionado, así poder utilizar el biogás para producción de electricidad o distribución de biogás a las comunidades, ciudades, etc y así también solucionar el problema de los rsu, en el departamento de Puno,

que contaminan el medio ambiente , con los diferentes gases que se expulsan a la atmosfera y dan una mala imagen a las diferentes distritos del departamento de Puno.

4.2 DISCUSIÓN

Comparando los resultados podemos determinar que la producción generada de biogás de Guatemala y otras, en comparación con la nuestra es muy grande porque los datos de generación de RSU son más grandes en comparación de la nuestra, además nuestra central generadora de energía eléctrica puede ampliar su producción de biogás, así podemos instalar más grupos generadores buscando la alternativa de comprar y/o gestionar los RSU de los diferentes distritos y provincias de PUNO, poniendo la mira en los RSU de la ciudad de Juliaca que con los RSU de esta ciudad se podría aumentar hasta 4 grupos Generadores más, comparando la producción de biogás de Guatemala y la del Perú , es muy grande la diferencia a nuestro país le falta dar más enfoque a la producción de energía mediante los residuos sólidos urbanos porque tenemos un gran potencial, en nuestro país falta promocionar esta clase energía limpia y renovable como lo hace el país de Guatemala.

Un ejemplo claro en nuestro país es la Central Térmica de Huaycoloro, que es un referente para la producción de biogás con los RSU, en nuestro país con una potencia instalada de 4.0 MW de potencia.

Producción de biogás del del botadero de trébol: 838.41 m³/h

Producción de biogás del botadero de Cancharani: 131,560 m³/h

CONCLUSIONES

PRIMERO: La dependencia actual de los combustibles fósiles para fines energéticos ha iniciado una necesidad de buscar nuevas alternativas para generar energía limpia y medioambientalmente viable.

SEGUNDO: En la gestión de los residuos sólidos urbanos puede ser un complemento al aprovechamiento social de la rentabilidad económica y ambiental de dichas actividades no solo generando biogás sino también reutilizando los envases de plástico de diferentes tipos y reutilizando varios de los materiales que no sirven para generar biogás, siendo una opción más aparte de la generación eléctrica a partir del biogás.

TERCERO: Entre la necesidad de opciones de gestión de RSU, el vertedero controlado, constituye por considerarse el de mayor utilización, un complejo factible para la producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.

CUARTO: Siendo el aprovechamiento energético de los RSU un complemento de gestión, la municipalidad de Puno gasta aproximadamente por servicio de limpieza pública S/. 5138408.00 nuevos soles, siendo esta alternativa para producción de energía eléctrica una alternativa para amortiguar el gasto anual para la limpieza pública y/o también darle un ingreso en nuevos soles en algunos años más.

QUINTO: La producción de biogás del botadero de Cancharani no es la más óptima, ya que es un botadero no tratado ni gestionado, se recomienda la

implantación de esta central de biomasa en el aspecto medioambientalmente, disminuyendo las emisiones de metano y dióxido de carbono a la atmosfera.

SEXTO: Se debe realizar estudios para la reubicación del botadero de Cancharani, para que sea un botadero gestionado, tratado y así evitar las emisiones de metano y dióxido de carbono a la atmosfera, mejorando el aspecto del mismo, también evitando posibles afecciones y enfermedades a la población de Puno.

RECOMENDACIONES

PRIMERO: El cálculo que se hizo es para el botadero de Cancharani que no es, un botadero y/o vertedero gestionado, se recomienda la implantación de un vertedero controlado y gestionado porque es una necesidad medioambiental y mejora la producción de biogás, su aprovechamiento energético es de interés especial, por lo que se debe fomentar este tipo de aprovechamiento energético en la región de puno.

SEGUNDO: Aprovechar la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos como un recurso renovable de energía es de interés nacional, nuestro país tienen pocas normativas, estudios, sobre este tema en particular el aprovechamiento de vertederos tratados y gestionados para aprovechar los RSU no solo como para producción de biogás para generar electricidad y/o también se podría fomentar la producción de biogás con biodigestores a mediana escala para domicilios en las regiones donde no llega fluido eléctrico, y así talvez mejorar la calidad de vida de nuestros compatriotas, instalando cocinas a biogás, instalando calefacción a biogás ,etc.

TERCERO: Viendo la problemática de los RSU de la ciudad de Juliaca que está en un punto muy crítico, que no tiene donde almacenar la basura que genera, se podría aprovechar los RSU de la ciudad de Juliaca para aumentar la potencia instalada de nuestra central, y a la vez darle una solución al problema de los RSU de Juliaca y de la ciudad de PUNO que está ya en un punto crítico, creando nuevos puestos de trabajo y ayudando a nuestro medio ambiente.

REFERENCIAS

- Adria, B. (2011). Estudio de viabilidad de la instalación de una planta de metanización en un buque crucero. Tesis de grado. ET Naval de Propulsió i Serveis del vaixell. Univrsitat Politecnica de Catalunya.
- Francisco, G. (2011), Aprovechamiento del Biogás en Vertederos Controlados. (Congreso 20 años de RSU) Universidad de Malaga.
- Gabriel b., Estela S., Verónica C., Alberto L. (2017), Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos.
- IHOBE (2005), Guía técnica para la Medición, Estimación y Calculo de las Emisiones de Aire. Octava edición.
- Ivan, B. (2005), Depósito de Residuos en Vertederos. Tesis doctoral. Master en ingeniería y gestión medioambiental. EOI escuela de negocios.
- José, A., Jorge M. (2006), Evaluación de Potencial Energético de los Rellenos Sanitarios. (Boletín IIE).Vol. 1.
- Louw, W. (2008), Restauración de Vertederos. Master en Restauración de Ecosistemas.Tecnoma.2 edición.
- Luis, C. (2013), Estudio de Factibilidad para Implementar una Central Eléctrica Aprovechando el Biogás Generado por el Relleno Sanitario del Inga. Tesis de grado. Ingeniería Eléctrica. Universidad Politécnica salesiana sede quito.
- Municipalidad Provincial de Puno (2015), Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos.
- Mario, P. (2006), Producción de Energía Eléctrica a Partir de Biogás Procedente de Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos. Tesis de grado. Ing. mecánica eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Nely, C. (2016), Producción y Recuperación de Biogás en Vertederos. Tesis de grado. Master en gestión y tratamientos de residuos. UAM.

Osinerming (2017), La industria de la Energía Renovable en el Peru. 10 Años de contribución a la mitigación del cambio climático. Primera edición.

Santiago, M. (1997), Producción y Recuperación del Biogás en Vertederos Controlados de Residuos Urbanos: Análisis de Viables y Modelización. Tesis Doctoral. Ingeniería Química y Tecnología del medio ambiente. Universidad de Oviedo,

ANEXOS

ANEXO 1: Planta eléctrica econogas a biogás.



**PLANTA ELÉCTRICA
DE 65 KW
CONTINUOS A
Biogas**

La planta eléctrica **econogas** a biogás* de 65 KW en potencia continua. Funciona como planta de transferencia manual, automática, en sincronía $\frac{1}{6}$ en paralelismo.

Equipada con un tablero multifuncional que permite el control y protección de parámetros importantes del motor y el generador, como lo son: temperaturas, presión de aceite, R.P.M., voltaje, frecuencia, amperaje, horómetro, historiales de eventos, etc.

SERVICIO POST-VENTA

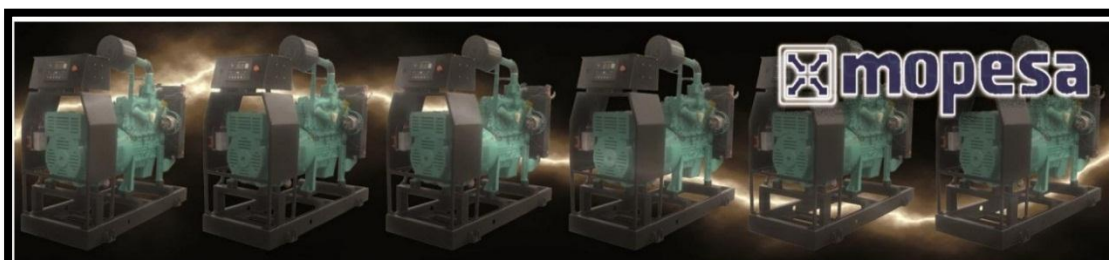
- ☒ Respaldo.
- ☒ Servicio.
- ☒ Refacciones a nivel nacional.
- ☒ Garantía.



DIMENSIONES	
Largo	255 cm
Alto	190 cm
Ancho	122 cm

ESPECIFICACIONES PLANTA ELÉCTRICA	
Potencia Nominal	70 Kwe
Potencia Continua en Biogás*	65 Kw a Biogás *

ANEXO 2: Especificaciones técnicas de planta eléctrica econogas.



ESPECIFICACIONES DEL MOTOR.A BIOGAS.	
Potencia Motor Nominal @ 1800 r.p.m	94 B.H.P
Potencia Motor Continua @ 1800 r.p.m	87,2 B.H.P
Modelo	YEG65
Tipo de Motor	T6.3724
R.P.M.	1800 RMP
Combustible	Biogás
Tipo de encendido	Electrónico
Tipo de Aspiración	Turbo cargado – Post enfriado
Número de Cilindros	6
Diámetro	(3.975 pulg) 100.96mm
Carrera	5 Pulg (127 mm)
Cilindrada	6.1 L
Sistema de enfriamiento	50% Agua y 50% anticongelante
Especificaciones del Aceite del Motor	SAE 20W-50 Norma MIL-2104D CD Serie 3
Relación de Compresión	10:1
Consumo Combustible a plena carga (100%)	60 m ³ /hr
Cantidad de Líquido Refrigerante	34 L
Gobernación	Electrónica
Filtro de Aire	Tipo seco
Diámetro interior de la salida de escape	3 pulg.
Cantidad de Aceite Incluyendo Filtros	16.1 L
Batería recomendada	12 V LTH 827C

ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR.	
Potencia del Generador	98 Kwe / 122 Kva
Modelo	GTA202AIVJ(98)
Servicio Stand by.	98 Kwe / 122 Kva
Continuo	86 Kw / 107Kva
Tensión	220 V a 440 V
Factor de Potencia	0.8
Frecuencia	60 Hz
Brida	SAE 3
Disco	SAE 11.5
No. de Terminales del Generador	12
Tipo de Aislamiento del Generador	Baja tensión / Clase H
Tipo de Excitación	Generador sin escobillas con bobina auxiliar
Tipo de Refrigeración del Generador	Abierto Autoventilado (Estandar)
Regulador de Tensión Integrado	Electrónico
Amperaje	220V-213 amperes 440V- 106 amperes
Tipo de Carcasa del Generador	IEC20-200 Corta
Fases	3
Hilos	4
Ciclo de Operación	Continuo ¹ / ₃ Intermitente
Régimen de Sobrecarga	10% hasta 2 horas ¹ / ₂₄ horas
Tipo de Generador	Síncrono Seriado

*70% de metano en el biogás, para la obtención de la potencia en Kw representados en la tabla y que pueden variar dependiendo de la calidad del biogás.

NOTA: Los valores especificados de potencia están sujetos a una tolerancia de +/- 5% dependiendo de la altitud, temperatura y calidad del biogás.

Panel de Control Manual.



Panel de Control de Sincronía.

Gabinete: Marca Mopesa con dimensiones 1m de ancho por 1m de largo por 1.87m de altura.
Transferencia: Contactores ABB con capacidades de acuerdo a requerimiento
Modulo de control: Deep Sea para control de protecciones.
Cargador de Baterías: Deep Sea



Principales Funciones

- ✖ Monitoreo de voltaje en líneas de suministro normal
- ✖ Arranque de grupo electrógeno
- ✖ Sincronía del generador con la red
- ✖ Transferencia y re transferencia de carga
- ✖ Medición de voltaje, corriente, frecuencia, presión y temperatura
- ✖ Secuencia de fases en suministros normal y de emergencia
- ✖ Protección por falla en energía baja, presión de aceite y alta temperatura de agua
- ✖ Comparación y ajuste de variables de CFE con generador.

Filtro de Biogás.

Se recomienda la utilización del filtro de biogás (Marca **mopesa**),

ANEXO 3 : Características del Transformador de distribución ABB.



Transformadores de Distribución y Potencia

PTM PB 001 SP

ENERO 2005

Transformadores de Distribución Tipo Poste Monofásicos desde 5 hasta 500 KVA



APLICACIÓN

El Transformador de distribución monofásico ABB, sumergido en Aceite, de montaje en Poste, ha sido diseñado específicamente para suministrar servicio a cargas residenciales de distribución aérea, cargas comerciales ligeras, alumbrado industrial y diversas aplicaciones de potencia. Estos transformadores están diseñados para las condiciones de uso normales en los sistemas de distribución de las empresas eléctricas.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GENERALES

- Potencia desde 5 hasta 500 kVA
- Voltaje AT desde 2400 hasta 34500 Voltios
- Voltaje BT 120/240, 240/480.
- 65C aumento de Temperatura
- 60 ó 50 Hz
- Niveles de aislamiento según normas internacionales ANSI, IEC o locales del país del cliente.

ACCESORIOS ESTÁNDAR

1. Presentación en tanque cilíndrico.
2. Soporte para colgar en poste
3. Dispositivo para levantar o izar
4. Indicador interno del nivel del líquido refrigerante
5. Puesta a tierra del tanque
6. Puesta a tierra del terminal neutro de baja tensión
7. Terminales de baja tensión en porcelana.
8. Tapa Auto válvula (Dispositivo para alivio de sobrepresión)
9. Marcadón de los Bujes de Alta, Baja Tensión, de la Potencia nominal y del número de serie
10. Placa de características en acero inoxidable
11. Conmutador de derivaciones de operación sin carga con manija exterior.
12. Bujes de alta tensión
13. Terminales de alta tensión

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Diseño: Los transformadores ABB son diseñados con base en una herramienta de optimización llamada LWCT - Liquid Wound Commom Technology

Núcleo: El circuito magnético es del tipo enrollado fabricado con láminas de acero al Silicio de Grano orientado, laminado en frío y de alta permeabilidad magnética, recubierto de aislamiento inorgánico en ambos lados con un tipo de corte tal que permite la ausencia de rebabas y por consiguiente bajos valores de corriente de excitación y pérdidas en vacío.

Devanados: Están formados por Bobinas concéntricas de cobre electrolítico de alta conductividad aislado por medio de papel Termoestabilizado impregnado en aceite dieléctrico. Son diseñadas para soportar esfuerzos de cortocircuito y solicitaciones eléctricas debido a cargas atmosféricas.

Tanque: Son fabricados con láminas comerciales laminadas en frío ASTM 36, con soportabilidad suficiente a esfuerzos mecánicos. Asimismo, se incluyen radiadores tipo panel como sistema de refrigeración en caso el diseño lo exija. La protección contra la intemperie incluye granallado previo a la aplicación de Pintura Electroestática.

Aceite: Es aceite mineral obtenido de la destilación - fraccionada del Petróleo crudo, preparado y refinado para uso en equipo eléctrico y constituye el elemento aislante y refrigerante del Transformador.

Pintura: La protección, para exposición al ambiente se alcanza mediante una limpieza profunda con chorro de granalla metálica (Sand Blasting), limpieza casi blanco, además de tres opciones de pintura según el lugar de destino y requisitos del cliente. Clase (Opción por defecto): Pintura electrostática, color gris, espesor promedio 100 micras. Tipo II: Pintura líquida, color gris, espesor promedio 140 micras. Tipo III: Pintura líquida, color gris, espesor promedio 220 micras y apta para ambiente severo con exposición a alto nivel de contaminación salina u atmosférica.

PRUEBAS

Rutina: Las pruebas de rutina se ejecutan a todos los Transformadores, de acuerdo con normas Internacionales o locales del país del comprador.

Típicamente se desarrollan las siguientes:

- Medida de resistencia de los devanados
- Medición de la relación de Transformación
- Medición de la Tensión de cortocircuito
- Medida de las pérdidas bajo carga
- Medición de las pérdidas sin carga y de la corriente de excitación.
- Ensayo de la tensión inducida
- Ensayo de tensión aplicada
- Medición de la resistencia de aislamiento

Tipo: Pruebas tipo o especiales, se realizan de acuerdo con las solicitudes de nuestros clientes.

Típicamente se solicitan las siguientes:

- Impulso Atmosférico
- Elevación de temperatura
- Sobrecarga
- Aptitud para soportar el cortocircuito.

ABB Ltda. División Transformadores Zona Industrial La Popa Dosquebradas, Risaralda, Colombia
Teléfonos: 57 63 301037/38/39 Fax: 57 63 301099
www.abb.com



ANEXO 4 : Dimensiones y Características de Transformador ABB.



Transformadores de Distribución y Potencia

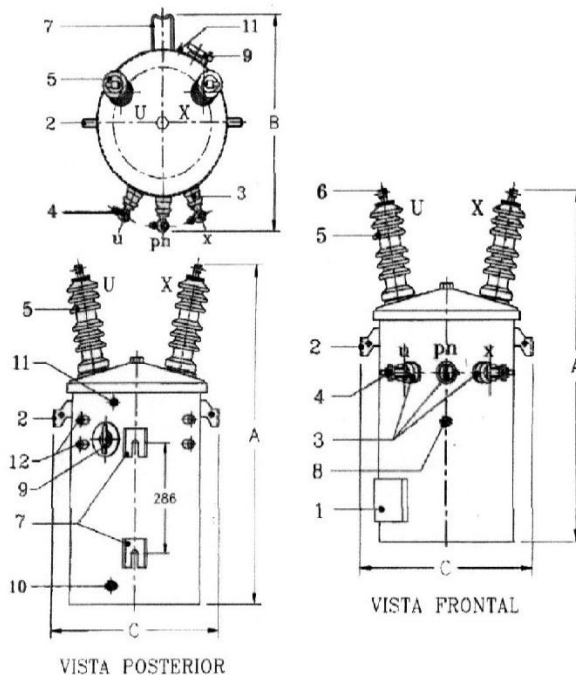
PTM PB 001 SP

ENERO 2005

Transformadores de Distribución Tipo Poste
Monofásicos desde 5 hasta 500 KVA

PESOS Y DIMENSIONES APROXIMADAS

A continuación relacionamos una tabla donde se indican las dimensiones y pesos máximos para unidades con diseño estándar. Todos los datos son estimados y pueden cambiar para cumplir con especificaciones.



KVA	DIMENSIONES (mm)				Peso total (kg)
	A	B	C	Diametro tanque	
10	785	540	445	336.5	98
15	785	540	445	336.5	110
25	785	585	490	387.35	148
37.5	910	690	555	444.5	210
50	1010	690	555	444.5	245
75	1010	690	685	508	385
100	1270	690	711	508	418
167	1473	965	838	609.6	669
250	1676	965	838	609.6	825
333	1574	1066	940	609.6	925
500	1676	1143	1041	685.8	1293

ABB Ltda. División Transformadores Zona Industrial La Popa Dosquebradas, Risaralda, Colombia
Teléfonos: 57 63 301037/38/39 Fax: 57 63 301099
www.abb.com



ANEXO 5 : Vista panorámica del botadero de Cancharani (2017)



Elaboración: Propia

ANEXO 6: Vista de RSU en el botadero de Cancharani (2017)



Elaboración: Propia