



PROPUESTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE BIOGÁS OBTENIDO POR LA MATERIA ORGÁNICA DEL RELLENO SANITARIO «SANTA CRUZ»-CONCEPCIÓN

A PROPOSAL OF ELECTRIC ENERGY GENERATION THROUGH BIOGAS OBTAINED FROM ORGANIC MATERIAL FROM THE LANDFILL «SANTA CRUZ»-CONCEPCIÓN

Gabriel Osiris Cairampoma Rodríguez¹

¹ Ingeniero electricista, Universidad Continental.

E-mail: gcairampoma@gmail.com

Resumen

La presente investigación permitirá aprovechar como recurso energético renovable la biomasa proveniente del relleno sanitario «Santa Cruz»-Concepción para la generación de energía eléctrica. Para lograr este objetivo, se realizará un análisis deductivo, descriptivo y analítico, además se utilizarán técnicas de análisis y fórmulas que permitirán deducir la viabilidad del estudio. Los resultados obtenidos demostrarán que sí es posible generar energía eléctrica mediante la utilización del biogás obtenido de la materia orgánica del Relleno Sanitario «Santa Cruz» para electrificar el entorno del mismo, asimismo se abastecerá la demanda máxima de 9.28 kW mediante el consumo de 5.57 de biogás. Se propone instalar 4 biodigestores tubulares para el almacenamiento del volumen total continuo de biogás, el cual se obtendrá durante 85 días a una temperatura promedio de 10,8 °C; la producción continua de biogás diario será de 5.76 y permite generar 9.6; los biodigestores estarán conectados paralelamente a un gasómetro diseñado para almacenar 5 de biogás, el cual será usado como reserva. También se ha demostrado que la implementación de esta alternativa es más económica en comparación con otras fuentes de generación de energía eléctrica no convencionales.

Palabras clave: Recurso energético renovable; biogás; biodigestor; generación de energía eléctrica; demanda máxima.

Abstract

This research will make it possible to use biomass from the «Santa Cruz» landfill as a renewable energy resource in Concepcion city for generation of electrical energy. To achieve this goal, a deductive, descriptive and analytical analysis will be carried out, also analytical techniques and formulas will be used to deduce the feasibility of this study. The results obtained will show that it is possible to generate electricity by using biogas obtained from the organic matter of Sanitary Landfill «Santa Cruz» in order to electrify the environment in the same way, also it will supply 9.28 kW as maximum demand by consuming 5.57 biogas. It is proposed to install 4 tubular biodigesters for the storage of total continuous biogas volume which will be obtained during 85 days at an average temperature of 10,8 ° C. The continuous production of daily biogas will be 5.76 which allows to generate 9.6. The biodigesters will be connected in parallel to a gasometer designed to store 5 biogas, which will be used as a reserve. It has also been shown that the implementation of this alternative is more economical in comparison to other sources of non-conventional electric power generation.

Keywords: Renewable energy resource; biogas; biodigester; generation of electric power; maximum demand.



I. INTRODUCCIÓN

Desde el año 2008, tal como indican [1], [2], [3] y [4], el Perú estableció como prioridad la generación de electricidad con fuentes renovables no convencionales, denominadas Recursos Energéticos Renovables (RER); asimismo, emitió leyes, normas y reglamentos destinados a promocionar el desarrollo y sostenibilidad para la generación de electricidad mediante los RER.

En [5] y [6], se menciona que los digestores cumplen una función ecológica ideal porque reciclan totalmente los desechos orgánicos a un costo muy bajo; además, indican que en el país los digestores anaerobios no son utilizados como un sistema de extracción de biogás, elemento que puede ser utilizado para la producción de energía (calor, luz o electricidad) y proveer beneficios a sus usuarios, a la sociedad y al medio ambiente en general.

Por lo expuesto líneas arriba, se elaboró la propuesta para la generación de energía eléctrica mediante biogás obtenido por la materia orgánica del relleno sanitario «Santa Cruz»- Concepción a fin de aprovechar al máximo el recurso energético renovable, que, según el informe anual del 2014 de SIGERSOL [7], actualmente está siendo desperdiciado.

Además esta energía permitirá electrificar el entorno del relleno sanitario «Santa Cruz» y se cumplirá con la política nacional y mundial que promueve la utilización de recursos energéticos renovables para la generación de energía eléctrica y el cuidado del medio ambiente para generaciones venideras.

II. OBJETIVOS

El objetivo general de la investigación es generar energía eléctrica mediante el uso del biogás obtenido de la materia orgánica del Relleno Sanitario «Santa Cruz»-Concepción. Entre los objetivos específicos se encuentran la electrificación del entorno del Relleno Sanitario «Santa Cruz»-Concepción y cumplir con la política nacional que promueve la generación de electricidad mediante recursos energéticos renovables.

III. METODOLOGÍA

Para efectuar la investigación, se utilizará el método descriptivo con tipo de diseño no experimental transversal descriptivo; se hará la revisión bibliográfica y documentos oficiales y reportes estadísticos, así como la búsqueda de información en Internet y el recorrido de campo del Relleno Sanitario «Santa Cruz»-Concepción. Para el análisis de datos, se aplicarán los conocimientos obtenidos durante la formación académica; asimismo, no se podrá manipular ni controlar variables, solo se describirán.

La población estará constituida por el distrito de Concepción, zona urbana, y el tamaño de la muestra se seleccionará de manera no probabilística, por conveniencia, para obtener el máximo beneficio de la materia orgánica procedente del Relleno Sanitario «Santa Cruz»- Concepción.

IV. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

Presupuesto

- Personal

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unit. \$ USD	Costo total \$ USD*	Costo total S/.
Construcción del biodigestor y de la zanja para el biodigestor	Jornal	4	30	120	384
Capacitación en producción y mantenimiento de los biodigestores	Día	1	20	20	64
Total				\$ 140.00	S/. 448.00

*Tipo de cambio \$ 3,2 – Año 2015





- Bienes

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unit. \$US*	Costo total \$US	Costo total S/.
1.1. Instalación del biodigestor/Gasómetro					
Otros bienes - Bidón de plástico 150 l	Unitario	4	25,74	102,95	329,44
Otros bienes - Polietileno tubular de 2 metros de ancho de manga y 300 um de espesor (gasómetro)	m	5	5,15	25,75	82,40
Otros bienes - Polietileno tubular de 2 metros de ancho de manga y 300 um de espesor (digestor)	m	94	5,15	484,1	1549,12
Otros materiales de construcción - Adhesivo de polietileno y PVC	m	4	11,32	44,88	143,62
Otros materiales de construcción - Tubería de PVC de 2»	Unitario	8	9,1	72,8	232,96
Otros materiales de construcción - Abrazadera metálica de 1»	Unitario	16	2,01	32,16	102,91
Otros materiales de construcción - plástico para invernadero de 4 metros de ancho	Unitario	52	1,87	97,24	311,17
Otros materiales de construcción -Palo de madera de 2 metros c/u	Unitario	20	4	80	256,00
Otros materiales de construcción - Clavos	kg	1	2	2	6,40
Otros materiales de construcción - Abrazadera metálica de 2»	Unitario	12	3,65	43,8	140,16
Otros materiales de construcción - Arandela metálica	Unitario	16	0,3	4,8	15,36
Otros materiales de construcción -Cinta aislante	Unitario	4	2,5	10	32,00
Otros materiales de construcción				80	256,00
1.2. Conducción de biogás					
Otros materiales de construcción - Tubería Flex de PVC de 1»	m	40	0,54	21,6	69,12
Otros materiales de construcción - Tubería de PVC de 1/2»	m	0,8	1	0,8	2,56
Otros materiales de construcción - Tubería de PVC de 1»	m	0,8	1,21	0,97	3,10
Otros materiales de construcción -Niple de 10 cm y 1»	Unitario	16	0,9	14,4	46,08
Otros materiales de construcción - Válvula de bola de PVC de 1»	Unitario	20	3,25	65	208,00
Otros materiales de construcción -Abrazaderas metálicas de 1»	Unitario	16	2,01	32,16	102,91
Otros materiales de construcción - Codo de PVC de 1» a 90°	Unitario	16	1	16	51,20
Otros materiales de construcción - Adaptador hembra de PVC de 1»	Unitario	4	0,4	1,6	5,12
Otros materiales de construcción - Adaptador macho de PVC de 1»	Unitario	4	0,4	1,6	5,12
Otros materiales de construcción - Reductor de PVC de 1» a 1/2»	Unitario	4	0,8	3,2	10,24
Otros materiales de construcción - Tapón roscado de PVC de 1»	Unitario	8	0,5	4	12,80
Otros materiales de construcción - Tee de PVC roscada de 1»	Unitario	16	1,1	17,6	56,32
Otros materiales de construcción - Codo flex 1»	Unitario	4	0,35	1,4	4,48
Otros bienes - Estropajo	Unitario	8	0,3	2,4	7,68
Otros bienes - Teflón	Unitario	12	0,9	10,8	34,56
Otros materiales de construcción				50	160,00
Total				\$1,324.01	S/ 4,236.83

*Tipo de cambio \$ 3.2 - año 2015





- Motor-generator

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unit. \$US.	Costo total \$US	Costo total S/.
Grupo electrógeno CAMDA Modelo KDPGH30-G de 30 kW	Unitario	1	9,960	9,960	31,872
Total			\$ 9,960.00	S/. 31,872.00	

*Tipo de cambio U\$ 3.2 - año 2015

- Costo total del proyecto

Detalle	Costo total \$ USD	Costo total S/.
Personal	\$ 140.00	S/. 448.00
Bienes	\$ 1,324.01	S/. 4,236.83
Motor-Generador	\$ 9,960.00	S/. 31,872.00
Total	\$ 11,424.01	S/ 36,556.83

V.RESULTADOS

Diseño del biodigestor

En el mercado hay diferentes tipos de biodigestores, con ventajas y desventajas, los más utilizados son el biodigestor de cúpula fija, el biodigestor de cúpula flotante y el biodigestor tubular [7]; para identificar y analizar el biodigestor que se va a utilizar en la investigación, se diseñó una matriz de decisión considerando los siguientes ítems:

- Tipo de materia prima: Se refiere al tipo de residuo con el que puede trabajar el biodigestor (considerar el 15 %).
- Vida útil: Tiempo operativo del digestor (considerar el 15 %).
- Tamaño típico del biodigestor: El área requerida para la construcción del digestor (considerar el 10 %).
- Mantenimiento del sistema: Conceptos que están relacionados con el funcionamiento y el mantenimiento del biodigestor para garantizar la producción del biogás programado, como, por ejemplo, flexibilidad de operación, confiabilidad del proceso y complejidad de su operación (considerar el 15 %).
- Costo: total de la inversión, materiales de construcción, operación y mantenimiento (considerar el 20 %).

- Rendimiento: Productividad y eficiencia del biodigestor; por ejemplo, inexistencia de fugas de biogás o la presión del biogás (considerar el 25 %).

En la Tabla 1 se evalúa la Matriz de decisión para el biodigestor de cúpula fija, el cual tiene varios aspectos favorables, como, por ejemplo, una vida útil de 20 años, no necesita mantenimiento durante el proceso de obtención del biogás y no hay restricciones con el tipo de materia prima a utilizar. Sus desventajas son el costo elevado en la construcción, una gran fuga de biogás, la generación de biogás no es visible y el tamaño máximo del biodigestor es de 5 ; por tal razón tiene un 64 % de aceptación.

Tabla 1. Matriz de decisión «Biodigestor cúpula fija»

Proceso Evaluar: «Biodigestor Cúpula Fija»					
Ítem	A	B	C	D	E
	Porcentaje (%)	Aspecto evaluado	Calificación*	C/5	D x A
a)	15	Tipo de materia prima	5	1	0,15
b)	15	Vida útil	5	1	0,15
c)	10	Tamaño típico del biodigestor	1	0,2	0,02
d)	15	Mantenimiento del sistema	5	1	0,15
e)	20	Costo	3	0,6	0,12
f)	25	Rendimiento	1	0,2	0,05
Total				64.0 %	

*Nota: 0 = No aplica, 1 = Suficiente, 3 = Adecuado, 5 = Muy bueno

La Tabla 2 muestra algunos aspectos favorables del biodigestor cúpula flotante: su tiempo de vida útil

es de 15 años, la presión de biogás es constante y no existe fuga de biogás si se le da mantenimiento a la cúpula flotante de acero, el tamaño máximo del biodigestor es de 5 a 15; entre las desventajas están el alto costo de construcción, un mantenimiento difícil y riguroso (en especial si queremos que la cúpula de acero dure 5 años), es limitado a ciertos sustratos ya que la cúpula flotante tiende a quedar atascada en sustratos fibrosos.

Este tipo de digestor tiene un 62 % de aceptación.

Tabla 2. Matriz de decisión biodigestor cúpula flotante

Proceso Evaluar: Biodigestor cúpula flotante					
Ítem	A	B	C	D	E
	Porcentaje (%)	Aspecto evaluado	Calificación*	C/5	D x A
a)	15	Tipo de materia prima	3	0,6	0,09
b)	15	Vida útil	5	1	0,15
c)	10	Tamaño típico del biodigestor	3	0,6	0,06
d)	15	Mantenimiento del sistema	1	0,2	0,03
e)	20	Costo	1	0,2	0,04
f)	25	Rendimiento	5	1	0,25
Total					62,0 %

*Nota: 0 = No aplica, 1 = Suficiente, 3 = Adecuado, 5 = Muy bueno

Los resultados de la Tabla 3. Matriz de decisión Biodigestor tubular indican que este tipo es el más adecuado para el proyecto, con un 84 % de aceptación, por las siguientes ventajas: los materiales para su construcción son baratos en comparación con los demás, el mantenimiento es fácil de realizar, el tamaño del biodigestor puede variar según los requerimientos, de 4 a 100 m³, y su vida útil es de 10 a 15 años de duración.

Las desventajas son la variable presión de biogás y su uso es solo para materia orgánica en la cual no se incluyen sólidos.

Tabla 3. Matriz de decisión «Biodigestor tubular»

Proceso evaluar: Biodigestor tubular					
Ítem	A	B	C	D	E
	Porcentaje (%)	Aspecto evaluado	Calificación*	C/5	D x A
a)	15	Tipo de materia prima	3	0,6	0,09
b)	15	Vida útil	5	1	0,15
c)	10	Tamaño típico del biodigestor	5	1	0,1
d)	15	Mantenimiento del sistema	5	1	0,15
e)	20	Costo	5	1	0,2
f)	25	Rendimiento	3	0,6	0,15
Total					84 %

*Nota: 0 = No aplica, 1 = Suficiente, 3 = Adecuado, 5 = Muy bueno

Preparación de la materia prima

El Informe anual 2014 del Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos (Sigersol) especifica que de toda la basura recolectada en el relleno sanitario Santa Cruz, el 44,15 % correspondió a materia orgánica, en este porcentaje no se consideró al papel, cartón, madera, follaje y residuos sanitarios [8].

Según información proporcionada por la Municipalidad Provincial de Concepción, la cantidad en kilogramos de los desechos que llegan al Relleno Sanitario «Santa Cruz» tiene un promedio mensual de 104; y 727,55 kg de residuos orgánicos mensuales, de los cuales el 5% es estiércol vacuno.



Tabla 4. Composición de los residuos sólidos del Relleno Sanitario «Santa Cruz»

Clasificación	Porcentaje	Clasificación	Porcentaje
Materia orgánica	44,15 %	Metales	0,27 %
Madera, follaje	6,1 %	Telas, textiles	0,06 %
Papel	3,4 %	Caucho, cueros y jebes	0,04 %
Cartón	0,42 %	Pilas	0,01 %
Vidrio	1,49 %	Restos de medicinas y focos	0,01%
Plástico PET	2,05 %	Residuos sanitarios	0,02 %
Plástico duro	0,99 %	Material inerte	4,39 %
Bolsas	31,87 %	Pañales y latas	4,98 %
Tecnopor y similares	0,02 %		

Fuente: Sigersol

La materia prima a utilizar debe contener materia orgánica vegetal triturada (de 0,5 a 1 mm aproximadamente) y materia orgánica animal (estiércol) mezclada con agua; el estiércol ayudará a acelerar la fermentación anaeróbica, mientras que la desventa-

ja de utilizar residuos orgánicos vegetales es su lenta y difícil descomposición [9], [10].

Por ello, siguiendo la recomendación, se propone mezclar un 25 % de residuos orgánicos vegetales y un 75 % de estiércol, la suma de ambos elementos será la materia prima a utilizar.

$$\text{MPC} = \text{Estiércol} + \text{Residuos orgánicos vegetales} \dots (1)$$

MPC: Materia prima para carga en kg/día

Estiércol: 75 % MPC

Residuos orgánicos vegetales: 25 % MPC

Considerando que el 5 % del total de los residuos orgánicos debe ser de estiércol vacuno, contamos con un promedio mensual de 5236,38 kg de estiércol. Dado que se utilizará el biodigestor tubular y este requiere una carga diaria, se podrá brindar diariamente 174,55 kg de estiércol vacuno al biodigestor, para el cálculo se considerará 165 kg de estiércol.

$$\text{MPC} = 165 + 55$$

$$\text{MPC} = 220 \text{ kg/día}$$

Cálculo de producción de biogás y volumen del biodigestor

Para realizar el cálculo de producción de biogás y el volumen del biodigestor tubular, se utilizaron las fórmulas de [11].

a) Cálculo de producción de biogás

Dado que la materia prima de carga contiene un mayor porcentaje de estiércol, la producción de biogás se desarrollará de acuerdo con el contenido de sólidos orgánicos presentes en la carga (Tabla 5).

Tabla 5. Valores y características del estiércol

Clase de animal	% por peso vivo		% del material de digestión		Relación C/N	P-Producción de biogás (de gas/ 1kg SO)
	PE-Estiércol	PO - Orina	% EST Sólidos totales	% de sólidos orgánicos		
Vacuno	5	4	15-16	13	20	0,250
Cerdos	2	3	16	12	13	0,350
Caprinos, ovejas	3	1,5	30	20	30	0,200
Caballos	5	4	25	15	20	0,250
Avícolas, gallinas	4,5	4,5	25	17	5-8	0,400
Humanos	1	2	20	15	8	0,300

Fuente: GTZ (1987)

$$PG = MPC * SO * P \dots\dots\dots (2)$$

PG: Gas producido en por día
MPC: Materia prima para carga en kg/día
SO: Porcentaje de sólidos orgánicos (Tabla 5)
P: Producción aproximada de de gas/1kg de masa orgánica seca total (Tabla 5)

$$PG = 220 \times 0.13 \times 0.25$$

$$PG = 7.2 \text{ m}^3/\text{día}$$

b) Porcentaje de sólidos totales (%ST)

$$\%ST = \frac{E \times \%EST}{MPC} \dots\dots\dots (3)$$

% ST: Porcentaje de sólidos totales contenidos en la materia prima para carga
MPC: Materia prima para carga en kg/día
% EST: Porcentaje de sólidos totales de estiércol
E: Estiércol en kg/día

$$\%ST = \frac{165 * 16}{220}$$

$$\%ST = 12$$

c) Sólidos totales (ST)

Los sólidos totales (ST) representan el peso del estiércol una vez seco.

$$ST = \frac{\%ST * MPC}{100} \dots\dots\dots (4)$$

ST: Cantidad de sólidos orgánicos contenidos en la materia prima para carga en kg/día
%ST: porcentaje de sólidos en la carga o materia
MPC: Materia prima para carga en kg/día

$$ST = \frac{12 * 220}{100}$$

$$ST = 26.4 \text{ kg / día}$$

d) Masa de agua para la mezcla

En caso de que el %ST sea menor o igual al 10 %, no es necesario calcular.

$$MH_2O = \frac{MPC \times ST}{10} - MPC \dots\dots\dots (5)$$

MH₂O: Masa de agua para mezclar que disminuye hasta un 10 % los sólidos orgánicos contenidos en la materia prima. (Se asume que un litro pesa un kilogramo.)

ST: Cantidad de sólidos orgánicos contenidos en la materia prima para carga en kg/día

MPC: Materia prima para carga en kg/día

$$MH_2O = \frac{220 * 26.4}{10} - 220$$

$$MH_2O = 361 \text{ litros / día}$$

e) Carga

$$C = MPC + MH_2O \dots\dots\dots (6)$$

C: Carga diaria para alimentar el digestor kg/día o litros/día (se asume que un litro pesa un kilogramo)

MPC: Materia prima para carga en kg/día

MH₂O: Masa de agua para mezclar que disminuye hasta un 10 % los sólidos orgánicos contenidos en la materia prima en kg/día

$$C = 220 + 361$$

$$C = 581 \text{ litro / día}$$

f) Cálculo del tiempo de retención

$$TR = (-51.227 * \ln(T^\circ C) + 206.72) \dots\dots\dots (7)$$

TR: Tiempo de retención en días

Ln: Logaritmo natural

T°C = Temperatura promedio en grados centígrados del sitio donde se instalará el biodigestor

$$TR = (-51.227 * \ln(10.8) + 206.72)$$

$$TR = 85 \text{ días}$$

g) Volumen del biodigestor

$$Vd = C \times TR \times 1.1 \dots\dots\dots (8)$$

Vd: Volumen del biodigestor en litros

TR: Tiempo de retención en días

C: Carga diaria para alimentar el digestor en litros días

1,1: Volumen adicional para el almacenamiento del biogás

$$Vd = 581 * 85 * 1.1$$

$$Vd = 54,323 \text{ litros}$$

$$Vd = 54,323 \text{ litros} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}}$$

$$Vd = 54.32 \text{ m}^3$$



Dimensión del biodigestor y gasómetro

Para realizar el dimensionamiento del biodigestor tubular y el gasómetro, se seguirá la información brindada en [12]. Si se considera que el biodigestor tubular y el gasómetro equivalen al volumen de un cilindro, se determina la dimensión de longitud y radio.

$$V_{\text{Cilindro}} = \pi * r^2 * L \dots\dots\dots (9)$$

$$L = \frac{V_{\text{Cilindro}}}{\pi * r^2}$$

V: Volumen del digestor

r: Radio del biodigestor en metros

L: Longitud del biodigestor en metros

Los datos de ancho de rollo, radio y diámetro del polietileno tubular son estándares y se mencionan en las Tablas 6 y 7 para su aplicación en las fórmulas pertinentes.

Tabla 6. Dimensión del biodigestor

Ancho de rollo (m)	Radio (m)	Diámetro (m)	Sección eficaz (π^*)	Longitud del biodigestor (m)	Relación L/D
1	0,32	0,64	0,32	42,44	66,31
1.25	0,4	0,8	0,50	27,16	33,95
1.5	0,48	0,96	0,72	18,86	19,65
1.75	0,56	1,12	0,99	13,72	12,25
2	0,64	1,28	1,29	10,53	8,23
Número de biodigestores				4	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6 se observan las diferentes alternativas de longitudes para alcanzar el volumen total del biodigestor, por lo cual existe una relación óptima a usar entre longitud y diámetro que es 7, la selección que debe hacerse es aquella que más se acerque a 7.

La dimensión del biodigestor será de 2 m de ancho de manga y 300 um de espesor, de un diámetro de 0.64 m, con una longitud de 10.53 m (considerando 10.6 metros), se construyen un total de 4 biodigestores para almacenar el volumen total.

Se diseñará un gasómetro para almacenar 5 de biogás. Como se puede observar en la Tabla 7 a mayor

ancho de rollo, se necesita menor longitud para el gasómetro. Para optimizar el espacio del terreno, se recomienda el ancho de manga de 2 metros y 300 um de espesor con el que se dimensiona una longitud de 3.88 m para el gasómetro (considerando 4 m).

Tabla 7. Dimensión del gasómetro

Ancho de rollo (m)	Radio (m)	Diámetro (m)	Sección eficaz (π^*)	Longitud del gasómetro (m)
1	0,32	0,64	0,32	15,63
1,25	0,4	0,8	0,50	10
1,5	0,48	0,96	0,72	6,94
1,75	0,56	1,12	0,99	5,05
2	0,64	1,28	1,29	3,88
Volumen de gasómetro (m ³)				5

Fuente: Elaboración propia

Se recomienda realizar la instalación del biodigestor tubular y el gasómetro siguiendo las indicaciones de [12], ya que explica de una forma muy didáctica y sencilla, por tal motivo no se explayará mucho en este tema.

Generación de energía eléctrica mediante biogás

Con los datos obtenidos se procedió a calcular el consumo de biogás requerido para electrificar el entorno del Relleno Sanitario «Santa Cruz».

Se considera un aprovechamiento de biogás en un orden de 80 %, debido a que en la captación de este existen pérdidas a igual en la alimentación del motor de combustión interna.

$$\text{Captacion de biogás} = 7.2 \frac{m^3}{\text{día}} * 0.8 \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{Captacion de biogás} = 5.76 \frac{m^3}{\text{día}}$$

Asimismo, se elaboró la tabla de la Demanda Máxima y Carga Instalada del Relleno Sanitario «Santa Cruz»:

Tabla 8. Demanda máxima del Relleno Sanitario «Santa Cruz»

Carga	Modelo	Potencia (W)	Cantidad	Carga instalada (kW)	F.D	D. Máx. (kW)
Luminarias	TL5	28	12	0.34	1	0.34
Luminarias	TL5	35	8	0.28	1	0.28
Motor o bomba	10 HP	7456.99	1	7.46	1	7.46
Computadora	LCD	200	3	0.60	0.8	0.48
Radio (estéreo)	SONY	80	1	0.08	0.8	0.06
Impresora	LASER	200	1	0.20	0.8	0.16
Reserva		500	1	0.50	1	0.50
Total				9.45		9.28
Cantidad de biogás a utilizar ()						5.57

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Consumo de electricidad

Carga	N.º de carga	Potencia (W)	Horas por día	kW-h por día
Luminarias	12	28	4	1,34
Luminarias	8	35	4	1,12
Motor o bomba	10 HP	7456.99	1	7,46
Computadora	3	200	5	3,00
Radio (stereo)	1	80	8	0,64
Impresora	1	200	2	0,40
Total kW-h por día				13,96
Cantidad de biogás a utilizar (m³/día)				8,38

Fuente: Elaboración propia

Para abastecer la demanda máxima del relleno sanitario «Santa Cruz» y siguiendo las características técnicas del Grupo Electrónico Camda Modelo

KDGH30 - G con un consumo de placa $0,6 \frac{m^3}{kW-h}$ y una potencia prime de 25kW, se procedió a calcular el consumo requerido de biogás.

$$\text{Consumo} = 0,6 \frac{m^3}{kW-h} * 9,28 \text{ kW-h} \dots \dots \dots (11)$$

$$\text{Consumo} = 5,57 \text{ m}^3 \text{ de biogás}$$

En la Tabla 9 se detalla el equipo a utilizar para abastecer el consumo de energía eléctrica diario del Relleno Sanitario «Santa Cruz».

La actividad de selección y planificación se hizo en conjunto con el señor Rubén Rodríguez Zanabria, responsable del lugar.

El cálculo requerido de biogás para abastecer el consumo de energía eléctrica diaria al Relleno Sanitario «Santa Cruz» se hizo tomando las características técnicas del Grupo Electrónico Camda Modelo

KDGH30 - G, con un consumo de placa $0,6 \frac{m^3}{kW-h}$ y una potencia prime de 25kW.

$$\text{Consumo} = 0,6 \frac{m^3}{kW-h} * 13,96 \text{ kW-h} \dots \dots \dots (12)$$

$$\text{Consumo} = 8,38 \text{ m}^3 \text{ de biogás}$$

Comparación de costo con generación de energía eléctrica solar fotovoltaica

Las fórmulas y datos utilizados en las Tablas 10, 11 y 12 se tomaron de [13] y [14] y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 10. Cálculo del consumo total (Gt)

Margen de seguridad de captación (MS)	20 %
Eficiencia del Sistema (Es)	89,39 %
Eficiencia del Inversor (Ei)	97 %
Eficiencia del regulador de carga (Er)	95 %
Pérdidas por sombra (P % sombra)	3 %
Máxima demanda de energía (DM)	9280 W
Consumo en Corriente Alterna $(100+M.S) * \frac{DM}{Es}$	12457.769
Consumo total (Gt)	12457.769

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 11.** Dimensionamiento del sistema de captación

Potencia de Captación del Panel (C)	250 W
Potencia de Captación ($C_p = C * N_p$)	3500 W
Número de horas de sol por día (HSD)	4 horas
Tensión de panel (TP)	30 V
Número de paneles $N_p = \frac{(1.1 * G_t)}{(C * HSD)}$	14 paneles

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Cálculo de baterías

Días de autonomía (D)	1 día
Profundidad de descarga máxima de la batería (M)	50 %
Eficiencia de la batería (Eb)	80 %
Máxima demanda de energía (DM)	9280 W
Capacidad de la batería $Ah = \frac{(D * M * D)}{(M * Eb)}$	23200 W-h
Capacidad de batería seleccionada (CB)	150 Ah
Tensión de la batería	12 V
Número total de baterías $NB = \frac{Ah}{(CB * TB)}$	13 baterías

Fuente: Elaboración propia

Para abastecer la máxima demanda de 9,28 kW del Relleno Sanitario «Santa Cruz», se necesitará de 14 paneles fotovoltaicos policristalinos, 26 baterías, 1 inversor de 10kW trifásico, 1 regulador de carga y 14 estructuras metálicas. El costo total es de S/ 59,739.00, sin incluir el costo de instalación y mantenimiento.

Tabla 13. Comparación de costo entre fuentes de generación de energía eléctrica

Descripción	Costo total S/
Biogás obtenido por la materia orgánica del Relleno Sanitario «Santa Cruz»	36 556,83
Solar fotovoltaica	59 739,0

Fuente: Elaboración propia

Indicadores económicos

Los indicadores económicos nos permitirán determinar la rentabilidad de la investigación en la cual

se utilizará el VAN y TIR. Para comenzar se asume que el Relleno Sanitario de Santa Cruz tiene la posibilidad de acceder a una red de energía eléctrica que en la actualidad es una posibilidad nula dado que se encuentra a 2.5 km del punto más cercano de acceso y que el Relleno Sanitario de Santa Cruz forma parte del Centro Ecoturístico de Protección Ambiental «CEPASC», teniendo en consideración lo indicado, se procedió a seleccionar la opción tarifaria más adecuada para el Relleno Sanitario «Santa Cruz».

Conociendo que se cuenta con opciones tarifarias en baja y media tensión como lo estipula la Norma «Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuarios Final» Resolución N.º 206-2013-OS/CD, la elección dependerá del nivel de tensión a la que se encuentre conectado el suministro.

Para escoger la mejor opción tarifaria para el relleno sanitario «Santa Cruz»- Concepción (suministro nuevo), se debe calcular la potencia instalada y la máxima demanda (Tabla 14); con estos datos se debe analizar el futuro comportamiento de las cargas eléctricas del relleno sanitario, de esta manera se estimará el promedio de energía a consumir en horas punta y fuera de estas horas punta; lo que nos permitirá determinar la tarifa eléctrica más conveniente; se usará el pliego tarifario del 4 de setiembre del 2015.

Tabla 14. Descripción del consumo de energía

Descripción	Unidad	Consumo del mes
Energía activa en fuera de punta	kW-h	162.73
Energía activa en punta	kW-h	41.92
Energía activa total	kW-h	204.65
Demanda máxima en punta	kW	1.66
Demanda máxima en fuera de punta	kW	9.28
Consumo de energía reactiva	kVar	221.13
Consumo de energía reactiva permitida	kVar	61.39
Consumo de energía facturado	kVar	159.74

Fuente: Elaboración propia

En las Tablas 15, 16 y 17, se calcula el monto a pagar con las tarifas eléctricas MT2, MT3 y MT4.

Tabla 15. Tarifa eléctrica MT₂

Descripción	Unidad	Consumo facturado	Precio unitario S/	Importe S/
Cargo fijo mensual	S/ /mes	-	13.99	13.99
Cargo por energía activa en punta	ctm S/ /kW-h	41.92	0.227	9.52
Cargo por energía activa fuera de punta	ctm S/ /kW-h	162.73	0.1924	31.31
Cargo por potencia activa de generación en HP	S/ /kW-mes	1.66	50.9	84.49
Cargo por potencia activa de distribución de HP	S/ /kW-mes	1.66	22.7	37.68
Cargo por exceso de potencia activa de distribución en HFP	S/ /kW-mes	7.62	19.17	146.08
Cargo por energía reactiva	ctm S/ /kVar-h	159.74	0.0416	6.65
Subtotal				329.71
IGV (18%)				59.35
Total facturado				389.06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Tarifa eléctrica MT₃

Descripción	Unidad	Consumo facturado	Precio unitario S/	Importe S/
Cargo fijo mensual	S/ /mes	-	12.74	12.74
Cargo por energía activa en punta	ctm S/ /kW-h	41.92	0.227	9.52
Cargo por energía activa fuera de punta	ctm S/ /kW-h	162.73	0.1924	31.31
Cargo por potencia activa de generación para usuarios	-	-	-	-
Presentes en punta	S//kW-mes	-	47.67	-
Presentes en fuera de punta	S//kW-mes	9.28	30.77	285.55
Cargo por potencia activa de redes de distribución para usuarios	-	-	-	-
Presente en punta	S//kW-mes	-	22.86	-
Presente fuera de punta	S//kW-mes	9.28	21.26	197.29
Cargo por energía reactiva que exceda el 30 % del total de la energía activa	ctm S//kVar-h	159.74	0.0416	6.65
Subtotal				543.05
IGV (18 %)				97.75
Total facturado				640.80

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Tarifa eléctrica MT₄

Descripción	Unidad	Consumo facturado	Precio unitario S/	Importe S/
Cargo fijo mensual	S/ /mes	-	12.74	12.74
Cargo por energía activa	ctm S/ /kW-h	204.65	0.202	41.34
Cargo por potencia activa de generación para usuarios	-	-	-	-
Presentes en punta	S//kW-mes	-	47.67	-
Presentes en fuera de punta	S//kW-mes	9.28	30.77	285.55
Cargo por potencia activa de redes de distribución para usuarios	-	-	-	-
Presente en punta	S//kW-mes	-	22.86	-
Presente fuera de punta	S//kW-mes	9.28	21.26	197.29
Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm S//kVar-h	159.74	0.0416	6.65
Subtotal				543.56
IGV (18 %)				97.84
Total facturado				641.40

Fuente: Elaboración propia



Como se puede observar la tarifa MT2 es la más conveniente; por tal motivo, el relleno sanitario tiene un consumo mínimo en el periodo de hora punta como se puede notar en la Tabla 14, además que el total facturado a pagar es menor en comparación con las tarifas MT3 y MT4.



Figura1. Comparación económica de las tarifas eléctricas MT2, MT3 y MT4 Fuente: Elaboración propia

Una vez seleccionada la opción tarifaria más adecuada para el relleno sanitario «Santa Cruz»-Concepción, se calculó el monto mensual a pagar con la tarifa eléctrica MT2, cuyo flujo de caja será de S/ 4,668.72 anuales.

Tabla 18. Cálculo del VAN y TIR

		AÑOS											
	Inversión	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Flujo de Caja	S/ 36,556.83	S/ 4,668.72	S/ 4,668.72	S/ 4,668.72	S/ 4,668.72	S/ 4,668.72	S/ 4,668.72	S/ 4,668.72	S/ 4,668.72				
		S/ -31,888.11	S/ -27,219.39	S/ -22,550.67	S/ -17,881.95	S/ -13,213.23	S/ -8,544.51	S/ -3,875.79	S/ 792.93	S/ 5,461.65	S/ 10,130.37	S/ 14,799.09	S/ 19,467.81

Tasa de Interés	7.00%
VAN	S/ 525.35
TIR	7.269%
PR	8 años

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar el periodo de recuperación es de 8 años con el sistema de generación de energía eléctrica mediante biogás obtenido por la materia orgánica del Relleno Sanitario Santa Cruz-Concepción, y los indicadores económicos demuestran que es una inversión segura y aceptable.

VI. CONCLUSIONES

- Es factible la generación de energía eléctrica mediante biogás, obtenido por la materia orgánica del Relleno Sanitario «Santa Cruz»-Concepción, pues se generaría 9.6 kW/día mediante el consumo de 5.76 de biogás.
- Es factible abastecer el requerimiento energético actual del relleno sanitario «Santa Cruz» - Concepción permitiendo de esta manera electrificar el entorno del mismo; se debe tener en consideración que el grupo electrógeno seleccionado en la investigación solo está siendo usado en un 37.12% de su capacidad para abastecer la demanda máxima de electricidad requerida en la investigación.
- Para lograr abastecer el consumo de energía eléctrica diario de 13.96 kW/día del Relleno Sanitario, se tendrá que almacenar en el gasómetro 2.62 de biogás adicional a la producción diaria de biogás obtenido. Si se quiere ampliar la demanda energética se tendrá que almacenar más biogás por

unos días teniendo en cuenta la dimensión del gasómetro o adicionar un biodigestor.

- El biodigestor tubular es el más óptimo para la presente investigación, esto se puede observar en la matriz de decisiones.
- Se pudo comprobar que el costo de inversión entre la generación de energía eléctrica mediante biogás obtenido por la materia orgánica del Relleno Sanitario «Santa Cruz» y la generación de energía eléctrica solar fotovoltaica para abastecer la Demanda Máxima, resulta más conveniente económicamente la alternativa a la cual se sustenta la presente investigación.
- El periodo de recuperación de la inversión según los indicadores económicos analizados es de 8 años; el VAN y TIR nos indica que es conveniente la ejecución de la investigación además que generará beneficios para el Relleno Sanitario «Santa Cruz».
- Se concluye que con la presente investigación se logra cumplir con la política nacional que promueven la utilización de Recursos Energéticos Renovables para la generación de energía eléctrica.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ley de Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables. Decreto Legislativo N.º 1002. En Boletín oficial *Diario El Peruano*, 2 de mayo de 2008.
- [2] Reglamento de la Ley de Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables. Decreto Supremo N.º 012-2011-EM. Boletín oficial *Diario el Peruano*, 23 de marzo de 2011.
- [3] Ley general de electrificación rural. Ley N.º 28749. Boletín oficial *Diario El Peruano*, 1 de junio de 2006.
- [4] Reglamento para la promoción de la inversión en áreas no conectadas a red. Decreto Supremo N.º 020-2013-EM. Boletín oficial *Diario El Peruano*, 27 de junio de 2013.
- [5] Cersso Massa, H y Ortiz Diaz, A. Estudio de Pre-Factibilidad para la recuperación y producción de energía en la región de Ica a través de un sistema de Biogás [Tesis]. Ica: Universidad Nacional San Luis Gonzaga. Facultad de Ingeniería Mecánica - Eléctrica, 2012.
- [6] Colín, R.; Enríquez, J. y Lima, E. *Propuesta para la generación de energía eléctrica a partir de biogás*. [Tesis para obtener el título de Ingeniero Electricista]. México: Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2009.
- [7] Samayoa, S.; Bueso, C, Víquez, J, y Hernández, E. *Guía Implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas*. Honduras: SNV, 2012.
- [8] Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos (SIGERSOL). *Informe Anual 2014*. Concepción: Municipalidad Provincial de Concepción, 2014.
- [9] López Ribera, Sara E. *Producción de metano en un biodigestor de residuos sólidos urbanos orgánicos y caracterización bioquímica de los microorganismos involucrados en el proceso*. [Tesis]. Quito: Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales, 2013.
- [10] Frederiks, B.; Bueso Varela, C.; Zwebw, D.; Acosta F., Coulibaly, G.; Víquez Arias, J.; Veen M., Ponce Valladares O., Bos S., Galema T., Rijssenbeek W., Eaton A., Martí Herrero J. y Pino M. *Productive Biogas: Current and Future Development five case studies across Vietnam, Uganda, Honduras, Mali and Peru*. *Magazine SNV and Fact Foundation*. 2013 [Consulta14 de setiembre 2017]. Disponible en línea: http://www.snv.org/public/cms/sites/default/files/explore/download/snv_fact_productive_biogas_2014_final.pdf
- [11] Téllez Santana, Cristian A. *Diseño y Selección de elementos para una planta de Biogás* [Tesis]. Valdivia: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, 2008.
- [12] Martí Herrero J. *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de Instalación*. Bolivia: GTZ – Energía, 2008.
- [13] Orbezo C, Arivilca R. *Energía solar fotovoltaica: Manual Técnico para instalaciones domiciliarias*. Lima: Green Energy Consultoría y Servicios SRL, 2010.
- [14] Chahuaya Huamani, Luis A. *Generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos Caso: Agencia Municipal de Huayao* [Tesis]. Huancayo: Universidad Continental, Facultad de Ingeniería, 2014.