

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA



EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA GENERACIÓN DE
ELECTRICIDAD USANDO BIOGÁS PRODUCIDO DE
LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA CIUDAD DE
JAÉN - PERÚ

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Autor : Bach. Omar Paul Pardo Cárdenas

Asesor : Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

JAÉN – PERÚ, NOVIEMBRE 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018
SUNEDU/CD

ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 18 de 11 del año 2019, siendo las 19:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : **Mg. Ing. José Andrés Fernández Mera**

Secretario : **Mg. Ing. Mario Felix Olivera Aldana**

Vocal : **Dr. Deibi Eric García Campos**

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

() Trabajo de investigación

(☒) Tesis

() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

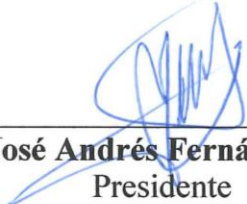
“Evaluación económica para generación de electricidad usando biogás producido de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Jaén - Perú”, presentado por el Bachiller Omar Paul Pardo Cárdenas de la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén.

(☒) Aprobar () Desaprobar (☒) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

a) Excelente	18, 19, 20	()
b) Muy bueno	16, 17	()
c) Bueno	14, 15	()
d) Regular	13	(☒)
e) Desaprobado	12 o menos	()

Siendo las 20:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.


Mg. José Andrés Fernández Mera
Presidente


Mg. Ing. Mario Felix Olivera Aldana
Secretario


Dr. Deibi Eric García Campos
Vocal

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problemática	3
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Hipótesis	3
1.3.1. Formulación de la hipótesis	3
1.4. Justificación e Importancia	3
1.4.1. Justificación técnica	3
1.4.2. Justificación económica	3
1.4.3. Justificación ambiental	4
1.4.4. Justificación Social.....	4
II. OBJETIVOS	5
2.1. Objetivo General.....	5
2.2. Objetivos Específicos	5
2.3. Marco Teórico.....	5
2.3.1. Antecedentes	5
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1. Materiales.....	11
3.1.1. Equipos.....	11
3.2. Diseño de la investigación.	11
3.2.1. Población y muestra	11
3.2.2. Variables.....	11
3.3. Metodología de la investigación	12
3.3.1. Métodos e instrumentos de recolección de datos.	12
3.3.2. Instrumentos de recolección de datos.....	12
3.3.3. Análisis de datos.....	12

3.3.4. Población proyectada para el 2040 en la ciudad de Jaén	13
3.3.5. Cálculo de la Proyección de la Generación per cápita	15
3.3.7. Producción estimada de la generación total de biogás al 2040	20
3.3.8. Cálculos para estimar el rendimiento térmico	22
3.4. Producción de energía	23
3.4.1. Selección del terreno	24
3.4.2. Selección de equipamiento básico para el sistema de generación de energía eléctrica utilizando biogás obtenidos de los RSU	26
3.5. Evaluación Económica	28
3.5.1. Cálculo de la inversión Inicial del proyecto	29
3.5.2. Ingresos	30
3.6. Aplicación de la metodología	33
3.6.1. Valor Actual Neto (VAN)	33
3.6.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)	34
3.6.3. Payback o plazo de recuperación descontado (PRD)	34
3.6.4. Análisis beneficio/costo o índice de rentabilidad	36
IV. RESULTADOS	38
4.1. Crecimiento Poblacional	38
4.2. Evolución de los RSU VS RSO	39
4.3. Estimación de la producción de metano utilizando el modelo Scholl Canyon	40
4.4. Estimación de la producción total de biogás obtenido de los RSU de la ciudad de Jaén.	41
4.5. Estimación de la potencia disponible para la ciudad de Jaén.	42
4.6. Energía eléctrica total producida anualmente	43
4.7. Ingresos por venta de energía eléctrica	44
4.8. Ingresos por bonos de carbono	45
4.9. Flujo de efectivo neto.	46

4.10. Flujo de efectivo acumulado.....	47
4.11. Indicadores de viabilidad del proyecto	48
V. DISCUSIONES	49
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
6.1. Conclusiones.....	52
6.2. Recomendaciones	53
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS.....	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Población de la ciudad de Jaén 2000 - 2015.....	13
Tabla 2. Población proyectada para la ciudad de Jaén 2016 - 2040.....	15
Tabla 3. Proyección de la Generación Per Cápita 2020 - 2040 para la ciudad de Jaén.....	17
Tabla 4. Proyección de la generación de los residuos sólidos orgánicos 2020 - 2040 en la ciudad de Jaén.....	18
Tabla 5. Estimación de la producción de metano	20
Tabla 6. Proyección de producción total de biogás generado para la ciudad de Jaén	21
Tabla 7. Estimación de la potencia disponible y energía eléctrica	24
Tabla 8. Matriz de costos.....	29
Tabla 9. Cálculo de la inversión inicial del proyecto	29
Tabla 10. Costos operacionales anuales	30
Tabla 11. Ingresos anuales por venta de energía	31
Tabla 12. Ingresos anuales por bonos de carbono	32
Tabla 13. Flujo de efectivo anual	33
Tabla 14. Flujo acumulado para los años 2020 - 2040	35
Tabla 15. Cálculo del Payback	36
Tabla 16. Análisis Beneficio/Costo	36
Tabla 17. Resultados de la viabilidad del proyecto	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de Botadero municipal	25
Figura 2. Ubicación de la planta.....	25
Figura 3. Filtro móvil de carbón activo	26
Figura 4. Moto - Generador NPT	28
Figura 5. Estimación del crecimiento poblacional para la ciudad de Jaén para los años 2020 – 2040.	38
Figura 6. Estimación de la generación de los RSU VS RSO.	39
Figura 7. Estimación de la producción de metano para la ciudad de Jaén.	40
Figura 8. Estimación de la producción total de biogás.....	41
Figura 9. Estimación de la potencia disponible.....	42
Figura 10. Energía eléctrica total producida anualmente para la ciudad de Jaén.	43
Figura 11. Ingresos obtenidos por la venta de electricidad.	44
Figura 12. Ingresos anuales por bonos de carbono.....	45
Figura 13. Flujo de efectivo neto estimado.	46
Figura 14. Flujo de efectivo acumulado para los años 2020 al 2040.	47

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Potencial de Generación de metano.....	60
Anexo 2. Índice de velocidad de generación del metano	60
Anexo 3. Central Termoeléctrica Recka	61
Anexo 4. Central de biomasa La Gringa	61
Anexo 5. Central termoeléctrica de biomasa Callao	61
Anexo 6. Central termoeléctrica Huaycoloro.....	61
Anexo 7. Central termoeléctrica de biomasa Huaycoloro II.....	61
Anexo 8. Generación de residuos domiciliarios por distrito	61
Anexo 9. Composición de los residuos sólidos domiciliarios de la ciudad de Jaén	61
Anexo 10. Entrada al Botadero Municipal de la Municipalidad Provincial de Jaén.....	61
Anexo 11. Recicladores ubicados cerca al botadero	61
Anexo 12. Residuos sólidos urbanos.....	61
Anexo 13. Pozo de lixiviados.....	61
Anexo 14. Tabla de coeficientes de dilatación adiabática.....	61
Anexo 15. Matriz de costos empleada en la “evaluación técnica económica para generar electricidad a través de una central térmica a partir de biogás en Cajamarca”.	61

LISTA DE ABREVIACIONES

- RSU: Residuos Sólidos Urbanos.
- RSO: Residuos Sólidos Orgánicos.
- MDL: Mecanismo de Desarrollo Limpio.
- MW: Mega Watt.
- kW: Kilowatt.
- kWh: Kilowatt Hora.
- Hz: Hercio.
- V: Voltaje.
- kg: Kilogramo
- m³: Metro Cúbico.
- tn: Toneladas.
- PIGARS: Programa Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos.
- PBI: Producto Bruto Interno.
- GPC: Generación Per Cápita.
- RPM: Revoluciones por minuto.

RESUMEN

La producción de residuos sólidos urbanos (RSU) que se generan a diario en la ciudad de Jaén en Perú, son producto de las actividades productivas humanas. El mejoramiento en la calidad de vida, aumento de la población y estilo de vida, son factores que influyen directamente en la generación de basura. Por ello la percepción de los residuos sólidos ha cambiado desde un punto de vista convencional de materia inservible a materia valorizable. En este sentido, el principal objetivo de este estudio fue realizar la evaluación económica para generación de electricidad usando biogás producido de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Jaén - Perú. Para alcanzar este objetivo, se realizaron los cálculos de generación de electricidad donde se tuvo en cuenta el crecimiento poblacional, la generación per cápita, la cantidad de residuos sólidos urbanos generados, así como también la cantidad de residuos orgánicos que produce la ciudad de Jaén anualmente y se estimó la generación total de biogás producido, usando el modelo Scholl Canyon. Los resultados del análisis económico, determinaron que la propuesta es muy rentable y factible para la inversión privada y/o publica llegando concluir que se obtendrán ganancias de S/. 0,958 por cada S/. 1,00 que se invierte.

Palabras clave: Evaluación económica, generación de electricidad, residuos sólidos urbanos, biogás.

ABSTRACT

The production of urban solid waste (USW) that is generated daily in the city of Jaén in Peru, are the product of human productive activities. The improvement in the quality of life, increase in population and lifestyle, are factors that directly influence the generation of garbage. Therefore, the perception of solid waste has changed from a conventional point of view of useless matter to recoverable matter. In this sense, the main objective of this study was to carry out the economic evaluation for electricity generation using biogas produced from urban solid waste in the city of Jaén - Peru. To achieve this objective, electricity generation calculations were carried out where population growth, per capita generation, the amount of urban solid waste generated were taken into account, as well as the amount of organic waste produced by the city of Jaén annually and the total generation of biogas produced was estimated, using the Scholl Canyon model. The results of the economic analysis, determined that the proposal is very profitable and feasible for private and / or public investment, concluding that profits of S /. 0.958 for each S /. 1.00 that is invested.

Keywords: Economic evaluation, electricity generation, urban solid waste, biogas.

I. INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Jaén la generación per cápita de residuos sólidos actual es de 0,63 kg/hab/día (Municipalidad Provincial de Jaén, 2012). Esto representa alrededor de 230 kg/hab/año y un volumen total de aproximadamente 24 000 tn de residuos sólidos/año en toda la ciudad. En este sentido, es necesario darle una solución a este problema, convirtiéndolo en una fortaleza para la población, dado los beneficios que traería para la ciudad la implementación de una planta de tratamiento de residuos sólidos para generar biogás y utilizarla en una central térmica para la generación de energía eléctrica.

La generación de RSU ha presentado un aumento sostenido en el tiempo al igual que el consumo de energía eléctrica, ambos signos propios de una economía en vías de desarrollo Pasquevich (2016). Sin embargo, el alto porcentaje de residuos depositado en botaderos municipales da cuenta de un sistema ineficiente y poco amigable con el medio ambiente, ya que se desperdician materiales con potencial de reciclaje o valorización energética. Este crecimiento progresivo de los RSU, aunado al crecimiento poblacional, ameritan una solución factible y sustentable en el espacio y tiempo al problema.

En este orden de ideas, el MEM (2014) indica que la petición de electricidad proseguirá con la predisposición ascendente de los últimos veinte años. Se aprecia que su desarrollo estará asentado primariamente en el progreso de los proyectos mineros e industriales, y en la facilitación de estos cambios, así como en el progreso de las principales ciudades en las regiones del país. Sus observaciones estiman que la reclamación pasará de los actuales 5 800 megavatios (MW) a un rango entre 9 500 MW y 12 300 MW al 2025 según los espacios de incremento del PBI de 4,5% y 6,5% respectivamente. En los primeros tres años, su progresión será mayor con tasas de 6,6%, y luego reducirá en aguardo de nuevos proyectos. El mercado de electricidad cuenta con dos fragmentos: el regulado que atiende a más de 6,5 millones de familias (55% del consumo total), y el fragmento libre con 260 consumidores industriales y mineros básicamente.

Por lo acotado anteriormente, la valorización térmica de RSU con recuperación de energía se presenta como una alternativa de tratamiento innovador, debido a sus beneficios que se obtienen. Estos recursos tecnológicos forman parte de las estrategias de manejo de residuos en los países desarrollados para disminuir la magnitud de desechos eliminados y frenar el crecimiento de botaderos a cielo abierto. Además, tienen una perspectiva sustentable de tratamiento de residuos ya que se genera energía renovable compensando las emisiones de gases de efecto invernadero en rellenos sanitarios.

En lo que concierne a la ciudad de Jaén, es notorio que los RSU no tienen un tratamiento adecuado, los cuales tienen como destino final un botadero a cielo abierto, lo cual produce múltiples efectos en la calidad del aire, agua y el suelo, que originan problemas para la salud humana y el equilibrio del medio ambiente. Es por ello que la subsanación de esta problemática debe ser considerada como elemento primordial para un desarrollo sostenible, que además contribuirá a mejorar la calidad de vida de la población y se logrará un desarrollo económico y social. En este sentido, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo general evaluar la prefactibilidad económica para la “Generación de energía eléctrica usando como combustible el biogás producido por los RSU” de la ciudad de Jaén.

1.1. Problemática

En la ciudad de Jaén la generación per cápita de residuos sólidos es de 0,63 kg/hab/día (Municipalidad Provincial de Jaén, 2012). Es por este motivo por la cual se plantea esta investigación, para darle una solución a este problema que se viene generando a partir de los RSU que se generan y para aprovechar los beneficios que se generarían al aprovechar los residuos sólidos urbanos para generar biogás y utilizarla como combustible para la generación de energía eléctrica.

1.2. Formulación del problema

¿Es factible la generación de electricidad usando biogás producido de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Jaén – Perú?

1.3. Hipótesis

1.3.1. Formulación de la hipótesis

Mediante una evaluación económica es demostrable la factibilidad para la generación de electricidad usando biogás producido de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Jaén – Perú.

1.4. Justificación e Importancia

1.4.1. Justificación técnica

Permitirá analizar, estudiar y aplicar una metodología adecuada para la generación de electricidad por medio del biogás a partir de los residuos sólidos urbanos (RSU), adaptados a nuestra realidad en la ciudad de Jaén, la cual podrá replicarse en otras ciudades del Perú.

1.4.2. Justificación económica

Este estudio se sustenta económicamente ya que la energía eléctrica generada por la combustión del biogás producido de los RSU, tiene impactos positivos; como son la disminución de botaderos a cielo abierto la cual es un medio de propagación de enfermedades, de insectos, y de contaminación del suelo, agua y aire; además de que existen políticas que promueven el uso de energía limpia a través de incentivos económicos como son el costo por kWh generado.

1.4.3. Justificación ambiental

Con esta investigación se plantea dar un tratamiento adecuado a los residuos sólidos urbanos, cuya disposición final no es adecuada dentro de la ciudad, lo que conlleva a que los RSU generen un gran impacto ambiental negativo.

1.4.4. Justificación Social

El presente trabajo pretende fomentar la generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos, apuntando a la sensibilización de la población sobre el medio ambiente y a promover las iniciativas de reciclaje por parte de la MPJ.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar económicamente la generación de electricidad usando biogás producido de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Jaén – Perú.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar el volumen de RSU producidos en la ciudad de Jaén.
- Seleccionar el equipamiento básico para la generación de electricidad usando biogás producido de los RSU.
- Realizar la evaluación económica del proyecto.

2.3. Marco Teórico

2.3.1. Antecedentes

2.3.1.1. A nivel nacional

En el Perú se han llevado varios proyectos relacionados con este tipo de investigación, debido al alto porcentaje de RSU que se generan a diario y una forma de poder aprovechar estos residuos es convertirlo en combustible limpio que serán aprovechadas en centrales térmicas para luego convertirlo en energía eléctrica, además de ser un beneficio para el medio ambiente lo será también para la sociedad que esta siempre en continuo crecimiento; para ello se ha estado tomando en cuenta varias investigaciones que se han venido desarrollando a nivel nacional en estos últimos años.

Medina, K. A., y Pérez, A. G. (2019) en su tesis de pregrado denominada “Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica utilizando biogás (Metano) obtenido a partir de residuos sólidos urbanos en Jaén”, demostraron que es posible aprovechar el potencial energético de los RSU, por lo cual en su investigación se logró el dimensionamiento electromecánico del sistema fundamental empleado

para la generación de energía eléctrica que utiliza biogás (metano) obtenido a partir de RSU en Jaén. Para sus cálculos asumieron la existencia de un relleno sanitario donde se almacenarán y tratarán adecuadamente los residuos de la ciudad de Jaén cuya proyección de servicio sería de 20 años. Teniendo en cuenta esto, utilizaron el modelo matemático Scholl Canyon para calcular el volumen de biogás que se generara donde llegaron a la conclusión que con el biogás obtenido para el año 2039 el sistema de generación de energía eléctrica diseñado podrá generar 4.3 Mega Watt, el cual representa aproximadamente el consumo eléctrico de 4300 casas en la ciudad de Jaén.

Oblitas, A. R. M. (2018) en su estudio técnico-económico para producir biogás a partir de los residuos generados por el camal municipal de Tumán afirma que en este tipo de investigaciones se aprovecha el valor energético de los desechos del ganado para la obtención de biogás y utilizar un biodigestor de acuerdo a la cantidad de residuos producidos es un método eficiente para la producción del mismo; de acuerdo a esto, este proyecto ofrece una mejor calidad de vida a los pobladores ya que estos residuos generan la presencia de insectos como moscas, zancudos y cucarachas que pueden contribuir a enfermedades; es por ello que en los pobladores se incrementara la conciencia ambiental y a nivel económico la recuperación de los residuos creara una fuente alternativa de energía que ayudara a mejorar la imagen de la ciudad reduciendo sus niveles de contaminación.

Coronado y Siesquen (2017) en su investigación sobre la prefactibilidad de instalación de una planta de tratamiento de residuos sólidos con relleno sanitario mecanizado para la ciudad de Chiclayo afirma que en el Perú solo existen 10 rellenos sanitarios que se encuentran en funcionamiento para una población de más de treinta millones de habitantes; lo cual demuestra que existen grandes problemas que impiden la rápida implementación de infraestructura para la adecuada disposición final de los residuos sólidos; además los residuos sólidos en un botadero de cielo abierto generan deterioros ambientales y problemas en la salud. Su estudio demuestra que la propuesta de la instalación de una planta de tratamiento de residuos sólidos, permitirá reducir el costo de energía eléctrica de los pobladores y lo más importante se generará una energía limpia cuidando al medio ambiente.

Huamani (2017) en su investigación sobre el análisis socioeconómico y ambiental del reaprovechamiento final de los residuos sólidos en la ciudad de Juliaca en Puno, sugiere que se debe considerar al residuo sólido como un insumo para otras industrias o actividades económicas, agregando además que la materia prima en otras industrias le otorga valor al desperdicio de otras industrias; en consecuencia, se crea una gran industria del reciclaje, de manera que se genera mayores ingresos, inversión, mayor empleo y altos estándares de manejo ambiental.

Jaramillo (2016) en su evaluación técnico económica para abastecer con biogás generado por estiércol de ganado vacuno para las cocinas de la I.E. San Pablo llegó a la conclusión que la instalación de un biodigestor en la escuela llegó a hacer económicamente rentable para reemplazar al balón tradicional GLP, para casos como estos donde existe espacio e interacción directa con ganado hace más adecuado y barato la instalación, operación y mantenimiento de estos tipos de biodigestores, aquí tenemos un claro ejemplo del aprovechamiento de los recursos sólidos vacunos; Jaén es una ciudad que cuenta con camal municipal donde sus desperdicios van directamente a un botadero al aire libre, en este caso se aprovecharía este recurso ya es que es muy factible generar biogás con los desperdicios que produce.

Ordoñez (2016) en su evaluación técnica económica para generar electricidad a través de una central térmica a partir de biogás en Cajamarca afirma que el uso de biogás es una iniciativa innovadora en el mercado de energías sostenibles, que favorece en la depreciación del gasto de carburantes fósiles, además mejora la calidad de vida de los ciudadanos, promueve el desarrollo productivo e impulsa mejorar la economía. Según su investigación es factible, viable y sostenible la creación de una planta de generación eléctrica con biogás utilizando los residuos sólidos de esta ciudad, principalmente más que por el aspecto técnico, por razones económicas de medio ambiente y de mejorar la matriz energética del país.

2.3.1.2. A nivel internacional

Se han encontrado varios documentos, artículos y trabajos de investigaciones relacionadas con este tema que ayudaran a fortalecer esta investigación a desarrollarse de manera eficiente y tener una visión más clara de lo que se están investigando.

Gonzales (2019) en su investigación sobre la producción de biogás a partir de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, afirma que en Europa los rellenos sanitarios son controlados por medio de cubiertas geomembranas para coleccionar el biogás, que luego será comercializada como gas natural después de su purificación y así de esta manera evitar la salida del metano a la atmosfera. También hace referencia que la mayor parte de estos sistemas controlados producen energía eléctrica por combustión de metano, ya que por las distancias de entrega es más fácil comercializar la energía eléctrica que el metano como gas natural. En relación a estos estudios; en México se viene desarrollando una de las propuestas del instituto de ingeniería donde nos indica lo beneficioso que resulta el manejo de los residuos sólidos para producir biogás y posteriormente darle un manejo extra al material fermentado como abono orgánico. Desde ese entonces se llevan a cabo grandes investigaciones en diversos aspectos de producción de biogás a partir de los RSU como una de las formas más apropiadas de aprovechamiento al considerarla como un insumo y no como un desecho.

Ávila, Campo, Brenes y Jiménez (2018) en su trabajo de investigación sobre la generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el tecnológico de Costa Rica realizaron la instalación de cuatro biodigestores a escala uno para cada tratamiento, los cuales fueron instalados en el campo de prácticas de la escuela de agronegocios, los cuales fueron cargados por residuos sólidos biodegradables del restaurante institucional, todos los biodigestores quedaron con un 80% de espacio libre con el propósito de que funcionaran como cámara de gases. Ávila et al. (2018) determinaron que la mejor metodología para la selección de la mezcla de este tipo de residuos sólidos con mejor rendimiento se debe hacer mediante observación en pruebas con

biodigestores a escala, de esta manera estará obteniendo mejores resultados en la producción del biogás.

En la nota técnica realizada por Blanco, G.; Santalla, E.; Córdova, V. y Levy, A. (2017) para el Banco Interamericano de desarrollo (BID), la producción de electricidad a partir de biogás capturado de los RSU se muestra como ejemplo la factibilidad técnica de la generación de electricidad a partir de la captura actual de biogás en San Javier II, y de la proyección a partir de los residuos depositados en San Javier III y los módulos futuros en la ciudad de Salta, Argentina; en esta investigación se analizó la factibilidad económica de la producción de energía eléctrica para la vida útil del proyecto, incluyendo los costos de inversión, mantenimiento y operacionales del sistema de generación, y se determinó el valor presente del costo de producción por unidad de energía generada. Se realizaron estimaciones de reducción de gases de efecto invernadero y se incluyó también una descripción del marco regulatorio para la generación de energía eléctrica a partir de biogás y la conexión a la red eléctrica.

Vera, Estrada, Martínez y Ortiz (2015) en su investigación sobre el potencial de generación de biogás y energía eléctrica parte II: RSU en el estado de Michoacán – México, realizaron el estudio de factibilidad económica y medio ambiental llegando a calcular la cantidad de biogás que se podría obtener a través de la descomposición anaeróbica de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos almacenados en un relleno sanitario, capturándola para generar energía eléctrica. Vera et al. (2015) para estimar la cantidad de biogás que se obtendría, emplearon el modelo mexicano de biogás versión 2.0, para una captación de RSU de 11 años con una vida útil de proyecto de 21 años, en el cual se evaluaron cuatro modelos de escenarios posibles, en el cual cada uno de los escenarios se justifica económicamente, obteniéndose beneficios económicos a largo plazo de millones de dólares al año.

Andino y Martínez (2015) en su tesis “Biodigestor: Una Alternativa de Innovación Socio – Económica Amigable con el Medio Ambiente” para optar el título de Licenciado en Economía Agrícola cuyo objetivo fue analizar la tecnología de biodigestores, para la obtención de biogás como una alternativa de desarrollo,

protección y conservación del medio ambiente en zonas rurales de Nicaragua, concluye que los limitantes para la utilización de un biodigestor son la ubicación de su instalación debe estar cercana a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo, la temperatura debe constante y cercana a los 35°C (esto puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos), como subproducto, se obtenga SH₂, el cual es tóxico y corrosivo lo que hace que genere menos CH₄, se necesita acumular los desechos orgánicos cerca del biodigestor, se corre riesgo de explosión de no cumplirse las normas de seguridad para gases combustibles.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Equipos

Para el trabajo de investigación se utilizó como equipos una laptop, una cámara fotográfica, y para los cálculos de estimación de generación de biogás y evaluación financiera del proyecto las herramientas del software Microsoft Excel 2019; así como también materiales de gabinete como son libros, revistas y artículos científicos.

3.2. Diseño de la investigación.

El trabajo de investigación es aplicado con un nivel descriptivo y un diseño de campo y gabinete (No experimental)

3.2.1. Población y muestra

3.2.1.1. Población de la investigación

Para el presente proyecto de investigación se tendrá como población a los desechos sólidos urbanos recolectados en la ciudad de Jaén para la obtención del Biogás.

3.2.1.2. Muestra de la investigación

La muestra será igual a la población; es decir serán todos los residuos sólidos urbanos captados en la ciudad de Jaén para la producción de biogás.

3.2.2. Variables

3.2.2.1. Variable independiente

Evaluación económica para la generación de electricidad.

3.2.2.2. Variable Dependiente

Generación de electricidad usando biogás producido por los RSU.

3.3. Metodología de la investigación

3.3.1. Métodos e instrumentos de recolección de datos.

Para la recolección de datos se utilizaron técnicas conocidas que permitió estudiar y analizar los diferentes datos que se obtuvieron durante el desarrollo de esta investigación, los cuales serán los siguientes:

- Observación: se utilizó esta técnica, que permitió estudiar, analizar y determinar la composición de los RSU.
- Diccionario de datos: técnica que se empleó para almacenar detalles, descripciones de los datos obtenidos.

3.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Los recursos de los cuales se apoyó esta investigación para la extracción de información fueron los siguientes:

El estudio se realizó utilizando recolección de datos a través de fuentes confiables como el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Plan Integral de Gestión de Residuos Sólidos (PIGARS JAÉN), Ministerio del Ambiente (MINAM), Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN); además de artículos científicos, libros y tesis extranjeras.

- Para el análisis económico se utilizó las herramientas del programa de Microsoft Excel 2019.
- Para la redacción de la información investigada Microsoft Word 2019 y para la sustentación del informe final Microsoft Power Point 2019.
- Para la determinación del estado, ubicación del botadero municipal se empleó una cámara.

3.3.3. Análisis de datos

Para el análisis de los datos en este proyecto de investigación se utilizó la estadística descriptiva, como técnica para toda la información recolectada con nuestros instrumentos de investigación.

Específicamente se hicieron los cálculos económicos para determinar la factibilidad de la inversión, se calculó indicadores económicos: Relación Costo/Beneficio, VAN, TIR, Payback, que implicó la generación de energía eléctrica a partir de la generación

de biogás producidos por los residuos sólidos urbanos. Para el cálculo de los indicadores, se utilizó las funciones financieras del software Microsoft Excel 2019.

3.3.4. Población proyectada para el 2040 en la ciudad de Jaén

Para el cálculo de la población proyectada al 2040, se utilizó inicialmente datos obtenidos de la población de Jaén en los años 2000-2015 encontradas en el INEI (Tabla 1).

Tabla 1.

Población de la ciudad de Jaén 2000-2015.

Año	Población
2000	81 218
2001	82 768
2002	84 273
2003	85 737
2004	87 167
2005	88 569
2006	89 946
2007	91 289
2008	92 593
2009	93 852
2010	95 074
2011	96 243
2012	97 371
2013	98 450
2014	99 476
2015	100 450

Fuente: (INEI, 2015)

La tabla 1 muestra los datos estadísticos de la población de Jaén para los años 2000 – 2015; el cual muestra un aumento de 1287 habitantes según el INEI.

Ahora para calcular la proyección de la población de Jaén al año 2040, se utilizó el siguiente modelo matemático de crecimiento poblacional brindado por el INEI. La cual se determina mediante la ecuación (1).

$$P_f = P_i \times (1 + TC)^n \quad (1)$$

Donde:

P_i : Población inicial, población real obtenida del último censo nacional

TC: Tasa de crecimiento

n : Número de años que se desea proyectar a la población, a partir de la población inicial (P_i)

P_f : Población futura proyectada después de “ n ” años.

De no contar con la tasa de crecimiento inter censal esta se puede calcular mediante la ecuación (2) ofrecida por el MINAM.

$$TC = 100 \times \left(\sqrt[n]{\frac{\text{Población final}}{\text{Población inicial}}} - 1 \right) \quad (2)$$

Donde:

TC: Tasa de crecimiento

n : Número de años entre población inicial y población final

Aplicando la ecuación (2) y utilizando los datos de la Tabla 1 obtendremos:

$$P_i (2007) = 91\,289$$

$$P_f (2015) = 100\,450$$

$$n = 8$$

$$TC = 100 \times \left(\sqrt[8]{\frac{100450}{91289}} - 1 \right)$$

$$TC = 1,20\%$$

Teniendo la tasa de crecimiento intercensal, ahora calcularemos el crecimiento poblacional utilizando la ecuación (1) (Tabla 2).

Tabla 2.

Población proyectada para la ciudad de Jaén 2016-2040.

Año	Población
2016	101 655
2017	102 875
2018	104 110
2019	105 359
2020	106 623
2021	107 903
2022	109 198
2023	110 508
2024	111 834
2025	113 176
2026	114 534
2027	115 909
2028	117 300
2029	118 707
2030	120 132
2031	121 573
2032	123 032
2033	124 509
2034	126 003
2035	127 515
2036	129 045
2037	130 593
2038	132 161
2039	133 746
2040	135 351

Fuente: Elaboración propia

La tabla 2 muestra la estimación de la población de Jaén para los años 2016 – 2040; mostrando el crecimiento para los años de la duración del proyecto; el cual nos indica que para el año 2020 la población será de 106 623 habitantes y para el 2040 será de 135 351.

3.3.5. Cálculo de la Proyección de la Generación per cápita

Según Huaylinos (2018), para calcular el crecimiento de generación per cápita de residuos, no existen cifras que demuestren con exactitud cómo puede variar esta anualmente, pero a través del crecimiento poblacional y el desarrollo continuo de los

pueblos, los índices aumentan a una tasa de 0,5 a 1% anual. Para el cálculo de la proyección de Generación per cápita se utilizó la ecuación (3).

$$G_{pf} = G_{pa}(1 + r)^n \quad (3)$$

Donde:

G_{pf} : Generación per cápita futura (kg/hab/día)

G_{pa} : Generación per cápita actual (kg/hab/día)

r : Tasa de incremento de generación en % (de 0,5 a 1%)

n : Número de años

Para el cálculo de la generación de residuos per cápita futura se utilizó la ecuación (3), tomando como dato actual la generación per cápita del Plan Integral De Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGARS) la cual fue de 0,63 (kg/hab/día) en el año 2012, con una tasa de incremento del 1%, el cálculo se muestra a continuación (Municipalidad Provincial de Jaén, 2012).

$$G_{pf} = 0,63(1 + 0,01)^1$$

$$G_{pf} = 0,63$$

Aplicando la ecuación 3 se calculó la proyección de generación per cápita (GPC) hasta el año 2040 (Tabla 3).

Tabla 3.

Proyección de la Generación Per Cápita 2020 - 2040 para la ciudad de Jaén.

Año	Población	GPC (kg/habitante/día)
2012	97 371	0,63
2013	98 450	0,64
2014	99 476	0,64
2015	100 450	0,65
2016	101 655	0,66
2017	102 875	0,66
2018	104 110	0,67
2019	105 359	0,68
2020	106 623	0,68
2021	107 903	0,69
2022	109 198	0,70
2023	110 508	0,71
2024	111 834	0,71
2025	113 176	0,72
2026	114 534	0,73
2027	115 909	0,73
2028	117 300	0,74
2029	118 707	0,75
2030	120 132	0,76
2031	121 573	0,76
2032	123 032	0,77
2033	124 509	0,78
2034	126 003	0,79
2035	127 515	0,80
2036	129 045	0,80
2037	130 593	0,81
2038	132 161	0,82
2039	133 746	0,83
2040	135 351	0,84

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3 muestra la proyección de la GPC para la ciudad de Jaén, la cual muestra que para el año 2020 se obtendrá una GPC 0,68 kg/hab/día y para el 2040 se obtendrá 0,84 kg/hab/día.

Una vez calculada la población y la generación per cápita de los RSU, se estimó los residuos sólidos orgánicos (Tabla 4) que son el 73,3% de los RSU generados en la ciudad de Jaén, según indica el PIGARS (Municipalidad Provincial de Jaén, 2012).

Tabla 4.

Proyección de la generación de los residuos sólidos orgánicos 2020 - 2040 en la ciudad de Jaén.

Año	Población	Residuos sólidos urbanos (ton/año)	Residuos sólidos orgánicos (ton/año)
2020	106 623	26 447,70	19 386,16
2021	107 903	27 032,72	19 814,99
2022	109 198	27 630,69	20 253,29
2023	110 508	28 241,88	20 701,30
2024	111 834	28 866,59	21 159,21
2025	113 176	29 505,12	21 627,25
2026	114 534	30 157,77	22 105,65
2027	115 909	30 824,86	22 594,62
2028	117 300	31 506,71	23 094,42
2029	118 707	32 203,63	23 605,26
2030	120 132	32 915,98	24 127,41
2031	121 573	33 644,08	24 661,11
2032	123 032	34 388,29	25 206,61
2033	124 509	35 148,96	25 764,19
2034	126 003	35 926,45	26 334,09
2035	127 515	36 721,14	26 916,60
2036	129 045	37 533,42	27 511,99
2037	130 593	38 363,66	28 120,56
2038	132 161	39 212,26	28 742,59
2039	133 746	40 079,63	29 378,37
2040	135 351	40 966,08	30 028,13

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4 se obtuvo los datos de la proyección de generación de los RSU y de los residuos sólidos orgánicos de la ciudad de Jaén, para este cálculo se multiplicó el número de habitantes de cada año por la generación per cápita respectivamente; luego para el cálculo de la proyección de generación de residuos sólidos orgánicos solo tomamos el 73,3% de los RSU calculados.

3.3.6. Estimación de generación de metano según modelo Scholl Canyon

Huaylinos (2018) indica que este modelo de estimación de generación de metano es muy utilizado por ser simple y directo, además que este modelo se basa en la suposición que hay una fracción constante de material biodegradable en el relleno sanitario por unidad de tiempo, que estimará la producción del metano (CH_4).

La ecuación de generación de metano según modelo Scholl Canyon asume que la composición del gas en volumen es de 50% metano y 50% dióxido de carbono (US EPA, 2005; Sharma y Reddy, 2004). La cual se determina con la ecuación (4).

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n k L_0 M_i e^{-kt_i} \quad (4)$$

Donde:

Q_{CH_4} : Generación anual de metano en el año de cálculo n [$m^3/año$].

k: Coeficiente de velocidad de generación de metano [$1/años$].

i: Incremento de un año

n: año de cálculo

L_0 : Potencial de generación de metano [m^3/tn].

M_i : Masa de residuos aceptada en el año i-ésimo [tn].

t_i (años): Edad de la masa de residuos aceptada en el i-ésimo año.

e: Constante matemática; base de logaritmo natural.

A partir de la ecuación (4) se generó la información presentada en la Tabla 5.

Tabla 5.

Estimación de la producción de metano.

Año	Residuos sólidos orgánicos (ton/año)	Producción de metano (m ³ /año)
2020	193 86,16	255 133,75
2021	198 14,99	260 777,31
2022	202 53,29	266 545,70
2023	207 01,30	272 441,69
2024	211 59,21	278 468,10
2025	216 27,25	284 627,82
2026	221 05,65	290 923,78
2027	225 94,62	297 359,02
2028	230 94,42	303 936,60
2029	236 05,26	310 659,68
2030	241 27,41	317 531,47
2031	246 61,11	324 555,26
2032	252 06,61	331 734,43
2033	257 64,19	339 072,39
2034	263 34,09	346 572,67
2035	269 16,60	354 238,86
2036	275 11,99	362 074,62
2037	281 20,56	370 083,71
2038	287 42,59	378 269,97
2039	293 78,37	386 637,30
2040	300 28,13	395 188,50

Fuente: Elaboración propia

La tabla 5 muestra la estimación de la producción de metano utilizando el modelo Scholl Canyon, el cual nos indica que para el año 2020 la producción de gas metano es de 255 133,75 m³/año, y para el año 2040 de 395 188,50 m³/año.

3.3.7. Producción estimada de la generación total de biogás al 2040

Para el caso de la generación total de biogás, la ecuación (4) sufre una ligera modificación teniendo en cuenta que la cantidad de biogás total se asume que es el doble de la cantidad de metano generado (US EPA 2005; Sharma y Reddy, 2004). La cual se determina mediante la ecuación (5).

$$Q = 2 \sum_{i=1}^n k L_0 M_i e^{-kt_i} \quad (5)$$

Q: Cantidad total de biogás generado. [$m^3/año$].

Para la determinación de los parámetros k y L_0 se utilizó el procedimiento estipulado en el manual del Ministerio de Medio Ambiente de la Columbia Británica, que establece las pautas de procedimientos para la evaluación de la generación de vertederos, en la provincia British Columbia de Canadá (MEBC, 2009). Ver Anexo 1 y Anexo 2. Aplicando la ecuación (5) se calculó la generación total de biogás desde el año 2020 - 2040 (Tabla 6).

Tabla 6.

Proyección de producción total de biogás generado para ciudad de Jaén.

Año	Producción de biogás	
	($m^3/año$)	($m^3/hora$)
2020	510 267,49	58,25
2021	521 554,61	59,54
2022	533 091,40	60,86
2023	544 883,38	62,20
2024	556 936,20	63,58
2025	569 255,63	64,98
2026	581 847,56	66,42
2027	594 718,03	67,89
2028	607 873,20	69,39
2029	621 319,35	70,93
2030	635 062,93	72,50
2031	649 110,53	74,10
2032	663 468,85	75,74
2033	678 144,78	77,41
2034	693 145,35	79,13
2035	708 477,72	80,88
2036	724 149,25	82,67
2037	740 167,43	84,49
2038	756 539,93	86,36
2039	773 274,60	88,27
2040	790 377,01	90,23

Fuente: Elaboración propia

La tabla 6 muestra la estimación de la producción de biogás; el cual indica que para el año 2020 la producción será de 510 267,49 m³/año y para el 2040 se obtendrá 790 377,01 m³/año.

3.3.8. Cálculos para estimar el rendimiento térmico

- **Relación de compresión**

La relación de compresión en un motor de combustión interna es el número que permite medir la proporción en que se ha comprimido la mezcla de aire-combustible (Motor Otto) o el aire (Motor Diésel) dentro de la cámara de combustión de un cilindro. Para calcular su valor teórico se utiliza la fórmula siguiente (6) según Yepes y Martí (2017).

$$RC = \frac{\frac{\pi}{4} \times d^2 \times s + V_c}{V_c} \quad (6)$$

Donde:

RC: Relación de compresión.

d: diámetro del cilindro [mm].

s: Carrera del pistón desde el PMS hasta el PMI [mm].

V_c: Volumen de la cámara de combustión [cc].

Datos del motor generador seleccionado:

d: 12,6 [cm].

s: 15,5 [cm].

V_c: 1933,3 [cc].

Aplicando la ecuación (6) obtenemos el siguiente resultado:

$$RC = \frac{\frac{\pi}{4} \times 12,6^2 \times 15,5 + 1933,3}{1933,3} = 1,99$$

- **Eficiencia Térmica**

La eficiencia térmica muestra la eficiencia con que un motor térmico transforma el calor en trabajo mecánico y viene dada por la siguiente ecuación (7) (Fiare, 1991).

$$\eta_T = 1 - \frac{1}{R_C^{\gamma-1}} \quad (7)$$

Donde:

η_t : Eficiencia térmica

R_C : Relación de compresión

γ : Coeficiente adiabático del metano (1,32)

Aplicando la ecuación (7) se obtiene el siguiente resultado:

$$\eta_t = \left(1 - \frac{1}{1,99^{1,32-1}}\right) \times 100\% = 19,76\%$$

3.4. Producción de energía

La potencia disponible se calculó conforme a Blanco, Santalla, Córdova y Levy (2017), utilizando la ecuación (8).

$$Potencia\ Disponible\ [kW] = \eta_t PCI_{Biogas} Q_{Biogas} \quad (8)$$

Donde:

η_t : eficiencia térmica en %

PCI_{Biogas} : Poder calorífico inferior del biogás [5 kWh/m³]

Q_{Biogas} : caudal de biogás capturado [m³CH₄/h]

La energía eléctrica a generar (Tabla 7) se estima en función de la potencia disponible y con un factor de disponibilidad del 85% por mantenimiento y viene dada por la ecuación (9). (Blanco et al., 2017)

$$Electricidad\ [kWh/año] = Potencia\ disponible\ (kW) \times 0,85 \times 8760 \left(\frac{h}{año}\right) \quad (9)$$

Tabla 7.

Estimación de la potencia disponible y energía eléctrica

Año	Potencia disponible (kW)	Energía eléctrica (kWh/año)
2019	56,31	419 248,86
2020	57,55	428 522,64
2021	58,82	438 001,56
2022	60,12	447 690,16
2023	61,45	457 593,06
2024	62,81	467 715,02
2025	64,20	478 060,88
2026	65,62	488 635,58
2027	67,08	499 444,20
2028	68,56	510 491,91
2029	70,08	521 783,99
2030	71,63	533 325,85
2031	73,21	545 123,02
2032	74,83	557 181,14
2033	76,48	569 505,99
2034	78,18	582 103,46
2035	79,91	594 979,59
2036	81,67	608 140,54
2037	83,48	621 592,61
2038	85,33	635 342,24
2039	87,21	649 396,01
2040	89,15	663 790,35

Fuente: Elaboración propia

La tabla 7 se generó utilizando los datos de la producción de biogás de la tabla 6 y aplicando la ecuación (8) y (9) se estimó la potencia disponible y energía eléctrica respectivamente.

3.4.1. Selección del terreno

El suministro de materia orgánica se obtuvo de los RSU de la ciudad de Jaén recolectados diariamente por la municipalidad provincial y que son almacenados en un vertedero de cielo abierto ubicado a 6,1 Km del centro de esta ciudad (Figura 1).

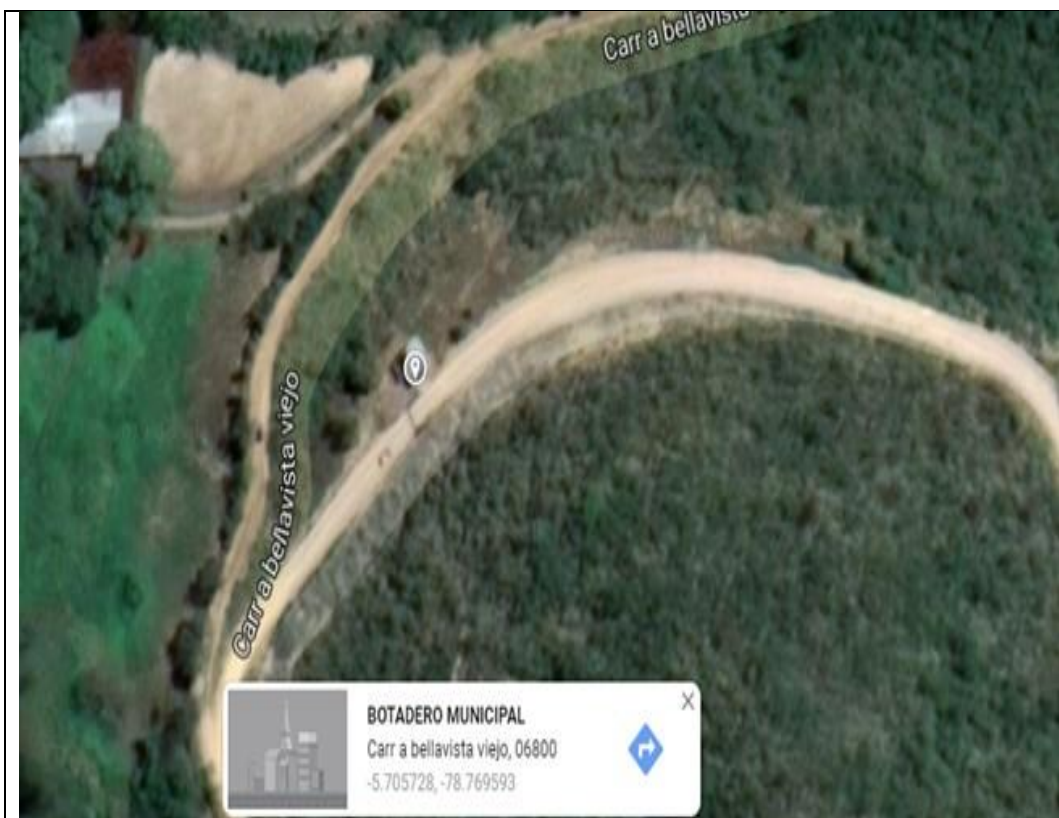


Figura 1. Ubicación de Botadero municipal

Fuente: Google Maps, 2019

La central de generación de biomasa y la central de energía, se consideró dentro de este botadero y en la figura 2 se muestra el área donde se podría instalar la central.



Figura 2. Ubicación de la planta

Fuente: Google Maps, 2019

Los criterios que se tomaron para la selección de la ubicación del terreno son:

- **Cercanía con la biomasa.** – La planta eléctrica se ubicará en una ratio no mayor de 500 metros del botadero municipal.
- **Situación del agua.** - La proximidad al centro de la ciudad y además de encontrarse cerca de la urbanización San Isidro donde cuentan con los servicios de agua, esto hace posible tramitar el suministro de agua.
- **Morfología del lugar y características del terreno.** – la morfología del lugar permite reducir gastos destinados a la nivelación del terreno, de esta manera se reducen los gastos asociados a las obras civiles.
- **Accesos terrestres:** El lugar se encuentra cerca de la ciudad y cuenta con una carretera bien defina haciendo posible el transporte y uso de maquinaria.

3.4.2. Selección de equipamiento básico para el sistema de generación de energía eléctrica utilizando biogás obtenidos de los RSU.

3.4.2.1. Filtro de biogás

La conversión del biogás en energía eléctrica exige un tratamiento previo del gas para evitar que ocurran problemas en el motor y, al mismo tiempo, conseguir una calidad del gas superior al 99% de CH₄. Para ello se utilizarán filtros de carbón activado móvil DESOTEC (Figura 3) para eliminar los principales componentes como son el sulfuro de hidrogeno y los siloxanos o malos olores. (DESOTEC, 2019)



Figura 3. Filtro móvil de carbón activo

Fuente: DESOTEC, 2019

3.4.2.2. Motor – Generador

El motor – generador utilizado para la generación de electricidad se determinó de acuerdo a la potencia máxima disponible calculada en la tabla 7 la cual nos muestra que para el año 2040 se obtendrá una potencia de 89,15 kW; por lo tanto, se buscó en el mercado el motor – generador más adecuado el cual tiene las siguientes características:

- Lugar de origen: Shandong, China
- Marca: NPT
- Número de Modelo: 100GFT
- Factor de Potencia: 0,8
- Potencia nominal: 100 kW
- Tipo de salida: Corriente alterna trifásica
- Voltaje nominal: 230/400 V
- Corriente nominal: 180A
- Velocidad: 1500/1800 rpm
- Frecuencia: 50/60Hz
- Diámetro x carrera: 126x155 (mm)
- Desplazamiento: 11,6
- Cilindro: 6 en línea
- Método de enfriamiento: Refrigerado por agua
- Alternador marca: Stamford
- Eficiencia del alternador: 92,5%



Figura 4. Motor - Generador NPT

Fuente: NPT Gas Genset, 2019

3.5. Evaluación Económica

En este marco, se realizó un análisis sobre la inversión, costos e ingresos que conformarán el flujo de caja del proyecto, con un horizonte de evaluación de 20 años para la ciudad de Jaén.

Para los costos se usó una matriz desarrollada por el estudio Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponibles en Chile para la generación de biogás realizado por la Comisión Nacional de Energía (CNE) (CNE-GTZ, 2007), además del Estudio de la contribución de las energías renovables no convencionales (ERNC) al Sistema interconectado central (SIC) al 2025: Potencial de la Biomasa para la Generación Eléctrica en Chile al 2025 realizado por Pontt Jorge, Pontt Carlos, y Guiñez (2008). Bravo y Navarrete (2012), Ordoñez (2016) refieren que esta matriz se adecuó al mercado peruano y se muestra en la tabla 8.

Tabla 8.

Matriz de costos.

Descripción	Precio	Unidades
Biodigestor	1000	US\$/kW
Generador	216	US\$/kW
Terreno	100	US\$/kW
Obras civiles	100	US\$/kW
Instalación	100	US\$/kW
Contingencia	150	US\$/kW
Ingeniería	200	US\$/kW
Puesta en marcha	100	US\$/kW
Costos operacionales		
Operacionales	22,96	US\$/kW-año
Mantenimiento	36,5	US\$/kW-año
Biomasa	0	US\$/Ton

Fuente: Bravo y Navarrete (2012) y Ordoñez (2016)

Para el cálculo de los ingresos anuales se utilizó el precio estipulado por OSINERMIN, con un precio ofertado de 0,1447 soles por kW-h.

3.5.1. Cálculo de la inversión Inicial del proyecto

Para estos cálculos (Tabla 9) se asumió una potencia instalada de 89 kW, siendo la potencia más alta de 89,15 kW para el año 2040.

Tabla 9.

Cálculo de la inversión Inicial del proyecto.

Descripción	Precio	Unidades	Costo
Biodigestor	1000	US\$/kW	S/298 150,00
Generador	216	US\$/kW	S/64 400,40
Terreno	100	US\$/kW	S/29 815,00
Obras civiles	100	US\$/kW	S/29 815,00
Instalación	100	US\$/kW	S/29 815,00
Contingencia	150	US\$/kW	S/44 722,50
Ingeniería	200	US\$/kW	S/59 630,00
Puesta en marcha	100	US\$/kW	S/29 815,00
			S/586 162,90

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 9 muestra los valores de los costos que se obtendrán para estimar la inversión total única del proyecto; en donde para obtener los resultados de los costos se multiplica el precio, por la máxima potencia esperada en el año 2040 cuyo valor se redondeó a 89kW y este se multiplica por el precio del dólar de S/. 3.35

Tabla 10.

Costos Operacionales anuales.

Costos operacionales		
Operacionales	Mantenimiento	Total
S/6 845,52	S/10 882,48	S/17 728,00

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 10 muestra los costos operacionales y costos por mantenimiento de la central térmica de generación de electricidad para la ciudad de Jaén, cuyos costos por mantenimiento se verán reflejados a partir del segundo año de funcionamiento ya que en el primer año todo estará completamente nuevo.

3.5.2. Ingresos

3.5.2.1. Ingresos por venta de energía

En la Tabla 11 se presentan los cálculos de los ingresos que se obtendrán por la venta de energía durante los 20 años.

Tabla 11.

Ingresos anuales por venta de energía.

Año	Energía eléctrica (kWh/año)	Ingresos por venta
2020	428 522,64	S/62 007,23
2021	438 001,56	S/63 378,83
2022	447 690,16	S/64 780,77
2023	457 593,06	S/66 213,72
2024	467 715,02	S/67 678,36
2025	478 060,88	S/69 175,41
2026	488 635,58	S/70 705,57
2027	499 444,20	S/72 269,58
2028	510 491,91	S/73 868,18
2029	521 783,99	S/75 502,14
2030	533 325,85	S/77 172,25
2031	545 123,02	S/78 879,30
2032	557 181,14	S/80 624,11
2033	569 505,99	S/82 407,52
2034	582 103,46	S/84 230,37
2035	594 979,59	S/86 093,55
2036	608 140,54	S/87 997,94
2037	621 592,61	S/89 944,45
2038	635 342,24	S/91 934,02
2039	649 396,01	S/93 967,60
2040	663 790,35	S/96 050,46

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 11 indica que las ganancias que se obtendrán en el año 2020 ascenderán a los S/62 007,23y para el año 2040 se espera una ganancia de S/ S/96 050,46.

3.5.2.2. Ingresos por bonos de carbono

Dado que este proyecto califica como Mecanismo de desarrollo limpio (MDL), existe un ingreso por venta de bonos de carbono según el protocolo de Kioto, en la entrevista realizada por RPP a Julia Justo, Directora Ejecutiva del Fondo Nacional del Ambiente indica que el bono de carbono en el Perú se encuentra entre \$12,00 a \$15,00 por tonelada de metano producido (Ordoñez, 2016). Para realizar el cálculo de ingresos por bonos de carbono se estimaron las toneladas de metano utilizando

la densidad 0,656 kg/m³ (ICLEI, 2009). Con un precio de 14 dólares la tonelada, con el tipo de cambio a moneda nacional de S/. 3,35. Las muestras de los cálculos realizados se presentan en la tabla 12.

Tabla 12.

Ingresos anuales por bonos de carbono.

Año	Metano (m³/año)	Ingresos (s/.)
2020	255 133,75	S/7 849,55
2021	260 777,31	S/8 023,18
2022	266 545,70	S/8 200,65
2023	272 441,69	S/8 382,05
2024	278 468,10	S/8 567,46
2025	284 627,82	S/8 756,97
2026	290 923,78	S/8 950,68
2027	297 359,02	S/9 148,67
2028	303 936,60	S/9 351,03
2029	310 659,68	S/9 557,88
2030	317 531,47	S/9 769,30
2031	324 555,26	S/9 985,40
2032	331 734,43	S/10 206,27
2033	339 072,39	S/10 432,04
2034	346 572,67	S/10 662,79
2035	354 238,86	S/10 898,65
2036	362 074,62	S/11 139,73
2037	370 083,71	S/11 386,14
2038	378 269,97	S/11 638,01
2039	386 637,30	S/11 895,44
2040	395 188,50	S/12 158,53

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 12 nos muestra que los ingresos en el año 2020 serán de S/7 849,55 y para el año 2040 se esperan ingresos que ascienden a los S/12 158,53 montos estimados que pueden variar si el precio del dólar aumenta o disminuye.

3.5.2.3. Flujo Efectivo Neto

El flujo efectivo viene a hacer la resta de ingresos y egresos. En la tabla 13 se presentan los cálculos para el período 2020 - 2040.

Tabla 13.

Flujo efectivo anual.

Año	Flujo efectivo neto
2020	S/69 856,77
2021	S/53 674,01
2022	S/55 253,42
2023	S/56 867,77
2024	S/58 517,83
2025	S/60 204,38
2026	S/61 928,25
2027	S/63 690,24
2028	S/65 491,22
2029	S/67 332,02
2030	S/69 213,55
2031	S/71 136,70
2032	S/73 102,39
2033	S/75 111,55
2034	S/77 165,17
2035	S/79 264,20
2036	S/81 409,67
2037	S/83 602,59
2038	S/85 844,03
2039	S/88 135,04
2040	S/90 480,99

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 13 muestra los flujos efectivos netos; es decir las ganancias totales por año. Para el primer año no se consideró gastos por mantenimiento, ya que toda la maquinaria estará completamente nueva.

3.6. Aplicación de la metodología

Los métodos económicos que se aplicaron para esta investigación son los cálculos del valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), Payback y el análisis de beneficio/costo; para ello se utilizó la herramienta informática de Microsoft Excel.

3.6.1. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN viene a hacer la suma de los flujos de efectivo que se acumulan a lo largo de la duración del proyecto para un tiempo cero (actual). Según Coss (2005) el VAN se calcula según la ecuación (10).

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (10)$$

Donde r viene a hacer la tasa de descuento del proyecto la cual aumenta para proyectos con más riesgo y representa el valor del dinero en el tiempo. Un proyecto que retorne flujos de efectivo posee un VAN mayor a cero. Según los cálculos realizados el VAN asciende a los S/281 150,25 el cual indica retornos de flujo de efectivo, con un valor positivo muy significativo, asumiendo una tasa de descuento anual del 5% para la evaluación del proyecto.

3.6.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Según Coss (2005) la TIR viene a hacer la máxima tasa que hace que nuestro VAN sea igual a cero. Luego se puede calcular igualando a cero la ecuación (10), dando origen a la ecuación (11).

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} \quad (11)$$

Otra forma de entender la TIR es como la tasa que entrega un monto equivalente a la inversión del proyecto en el tiempo de evaluación. (Van Horne J. C, Wachowicz Jr. John M., 2010). La TIR para el proyecto nos da 9,59% según los cálculos realizados para la duración de los 20 años del proyecto, el cual indica que el proyecto se acepta.

3.6.3. Payback o plazo de recuperación descontado (PRD)

Según Coss (2005) se utiliza este indicador para calcular el tiempo que tarda un proyecto en recuperar el desembolso inicial y está dada por la ecuación (12).

$$0 = -I_0 + \sum_{i=1}^T F_i \quad (12)$$

Donde I_0 es la inversión inicial del proyecto, F_i es el flujo de efectivo en el periodo i y T al periodo de retorno de la inversión, en donde la ecuación se cumple. Para el cálculo del payback se calculó necesariamente el flujo de caja acumulado, presentado en la Tabla 14:

Tabla 14.

Flujo acumulado para los años 2020 al 2040.

Año	Flujo acumulado
2020	S/69 856,77
2021	S/123 530,78
2022	S/178 784,20
2023	S/235 651,96
2024	S/294 169,79
2025	S/354 374,17
2026	S/416 302,42
2027	S/479 992,67
2028	S/545 483,88
2029	S/612 815,90
2030	S/682 029,46
2031	S/753 166,16
2032	S/826 268,54
2033	S/901 380,10
2034	S/978 545,26
2035	S/1 057 809,46
2036	S/1 139 219,13
2037	S/1 222 821,73
2038	S/1 308 665,76
2039	S/1 396 800,80
2040	S/1 487 281,79

Fuente: Elaboración Propia

Los datos de la tabla 14 muestra las ganancias acumuladas para los años 2020 – 2040 para la ciudad de Jaén, donde nos indica que al final de nuestro proyecto obtendremos una ganancia total acumulada para los 20 años de S/1 487 281,79.

Tabla 15.

Cálculo del Payback

Descripción	Valores
Inversión inicial	S/586 162,90
Último flujo	S/612 815,90
Por recuperar	S/40 679,02
Años	0,06
PAYBACK (años)	9,06

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 15 nos indica que la inversión se recupera en 9 años con 21 días aproximadamente, es decir que a partir del segundo mes del año 9 se obtendrán ganancias netas.

3.6.4. Análisis beneficio/costo o índice de rentabilidad

Con este indicador (Tabla 16) se pretendió dar mayor confiabilidad a la evaluación económica del proyecto. Para realizar el cálculo del beneficio/costo se procedió a dividir la suma de ingresos entre la suma de los egresos más la inversión.

Tabla 16.

Análisis Beneficio/Costo

Indicadores Económicos	Valores
Suma de Ingresos	S/1 841 841,77
Suma de Egresos	S/354 559,98
(Egresos + Inversión)	S/940 722,88
Beneficio/Costo	1,958

Fuente: Elaboración Propia

Como indica la tabla 16, se obtuvo un beneficio/costo de S/. 1,958, la cual indica que por cada S/. 1,00 invertido se obtendrá una ganancia de S/. 0,958, lo cual demuestra que nuestro proyecto es beneficioso ya que muestra ganancias de más del 95%.

IV. RESULTADOS

4.1. Crecimiento Poblacional.

La figura 5 muestra la línea de tendencia del crecimiento poblacional para la ciudad de Jaén; el cual muestra un aumento de 1 435 habitantes por año aproximadamente, este dato es obtenido mediante la regresión simple, método empleado por el INEI para determinar el crecimiento poblacional; y el cual nos indica también que la población de Jaén en el 2020 alcanzara los 106 623 habitantes y en el 2040 llegara a alcanzar aproximadamente los 135 351 habitantes.

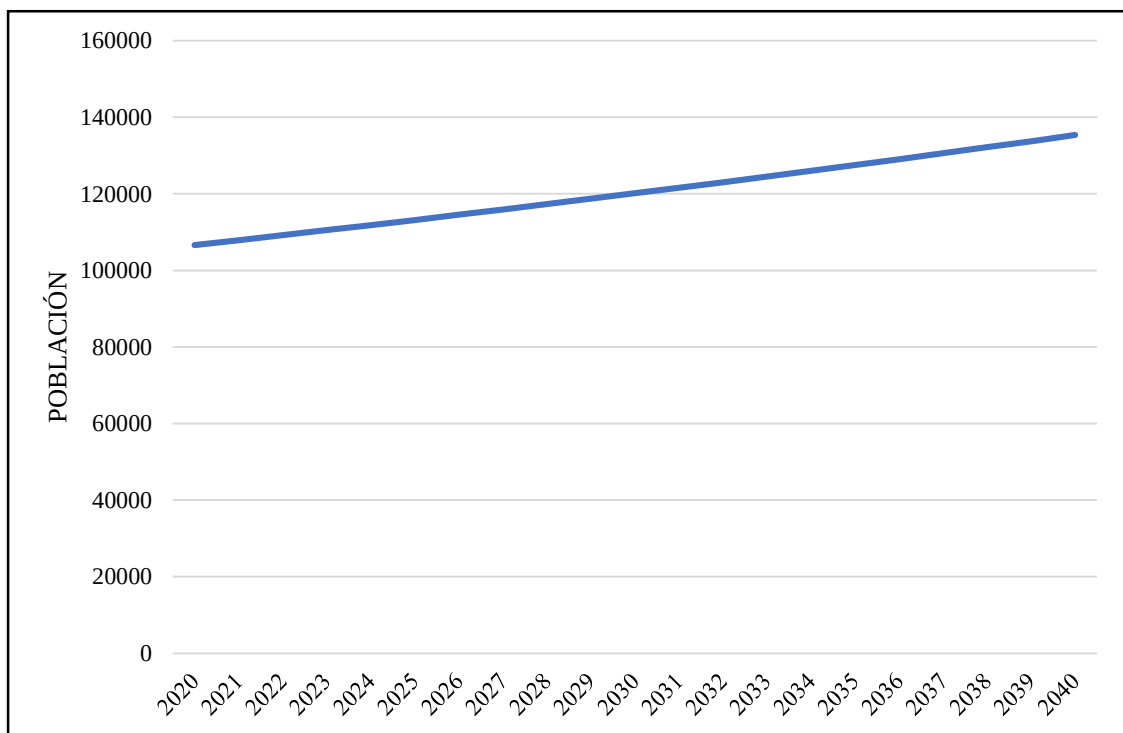


Figura 5. Estimación del crecimiento poblacional para la ciudad de Jaén para los años 2020 – 2040.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2. Evolución de los RSU VS RSO.

La figura 6 representa el aumento de la generación de los residuos sólidos urbanos frente a los residuos sólidos orgánicos, el cual aumenta 716,44 toneladas anualmente para los RSU y de 525,15 toneladas para los RSO; además muestra que en el 2020 debido al crecimiento poblacional se generaran 26 447 toneladas de RSU y 19 386 toneladas de RSO; y en el 2040 se llegara a generar 40 966 toneladas de RSU y 30 028 toneladas de RSO.

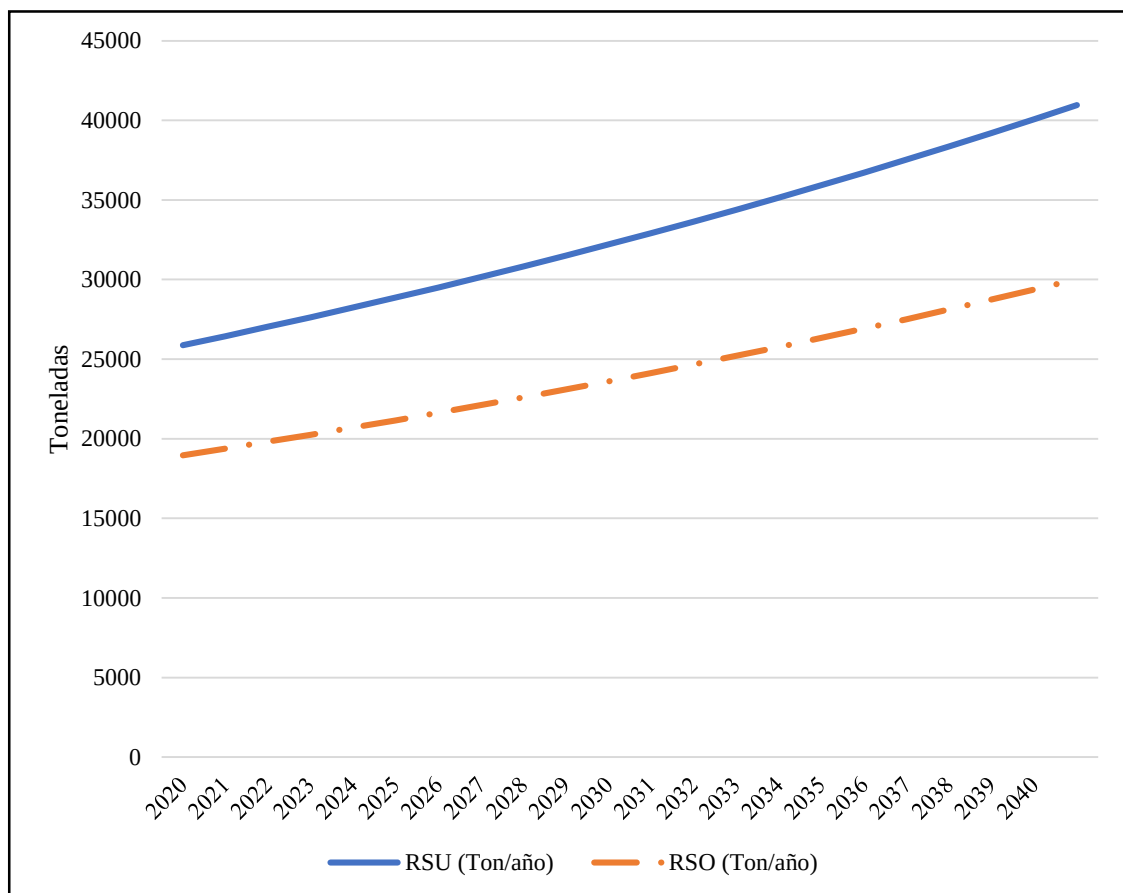


Figura 6. Estimación de la generación de los RSU VS RSO.

Fuente: Elaboración Propia.

4.3. Estimación de la producción de metano utilizando el modelo Scholl Canyon.

La figura 7 indica que en el año 2020 se genera 255 133 m³ de gas metano y en el año 2040 se generan 395 188 m³; por lo tanto, el aumento de la producción de metano es de 6 983 m³ anualmente, cifra estimada para los años 2020 - 2040 para la ciudad de Jaén; datos aproximados que se calcularon con el modelo matemático Scholl Canyon para calcular la producción del metano a partir de los RSO.

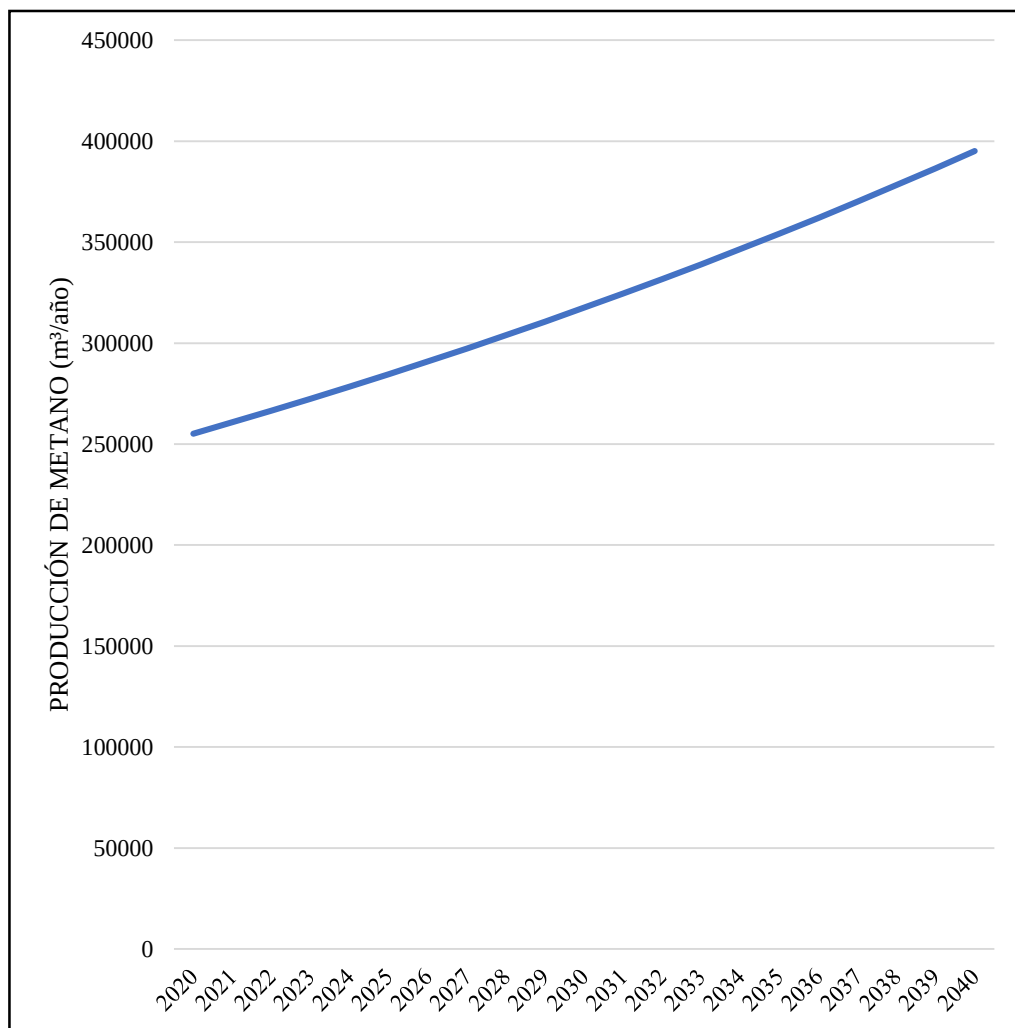


Figura 7. Estimación de la producción de metano para la ciudad de Jaén.

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Estimación de la producción total de biogás obtenido de los RSU de la ciudad de Jaén.

La figura 8 representa el aumento estimado de la producción de biogás, siendo para el año 2020 la producción de biogás de 510 267 m³ y alcanzando para el año 2040 una producción de 790 377 m³; toda esta estimación fue calculada mediante el modelo matemático Scholl Canyon; el cual refleja un aumento aproximado de 13 968 m³ anualmente.

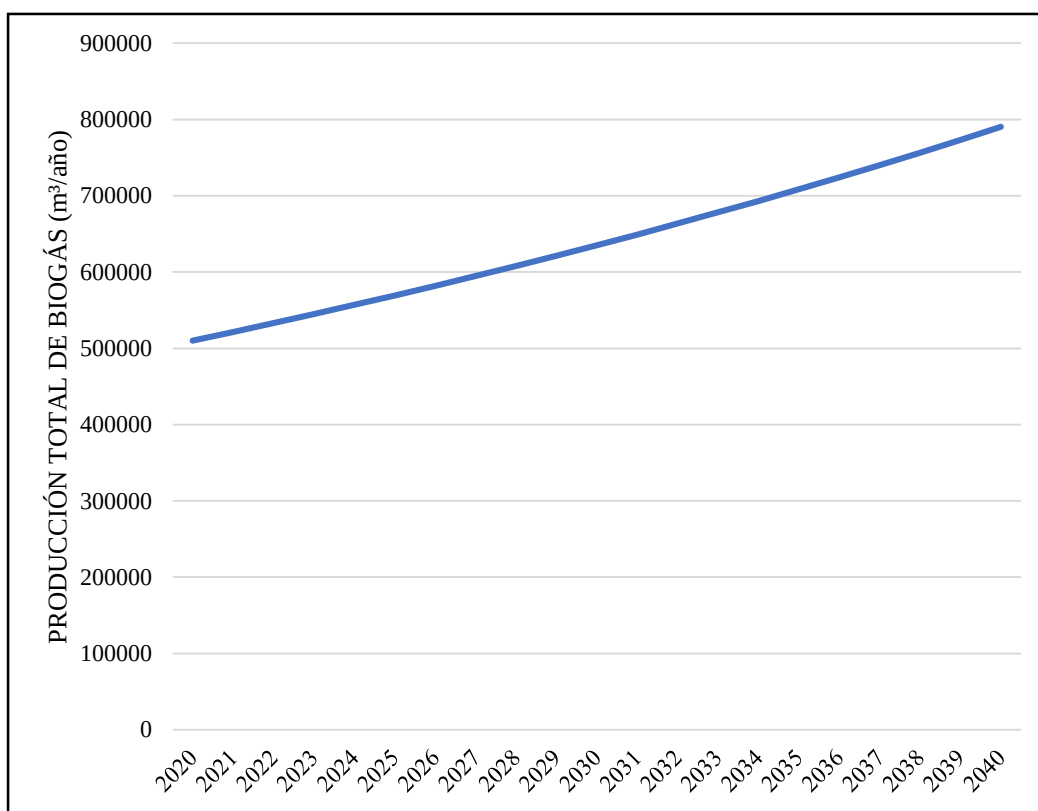
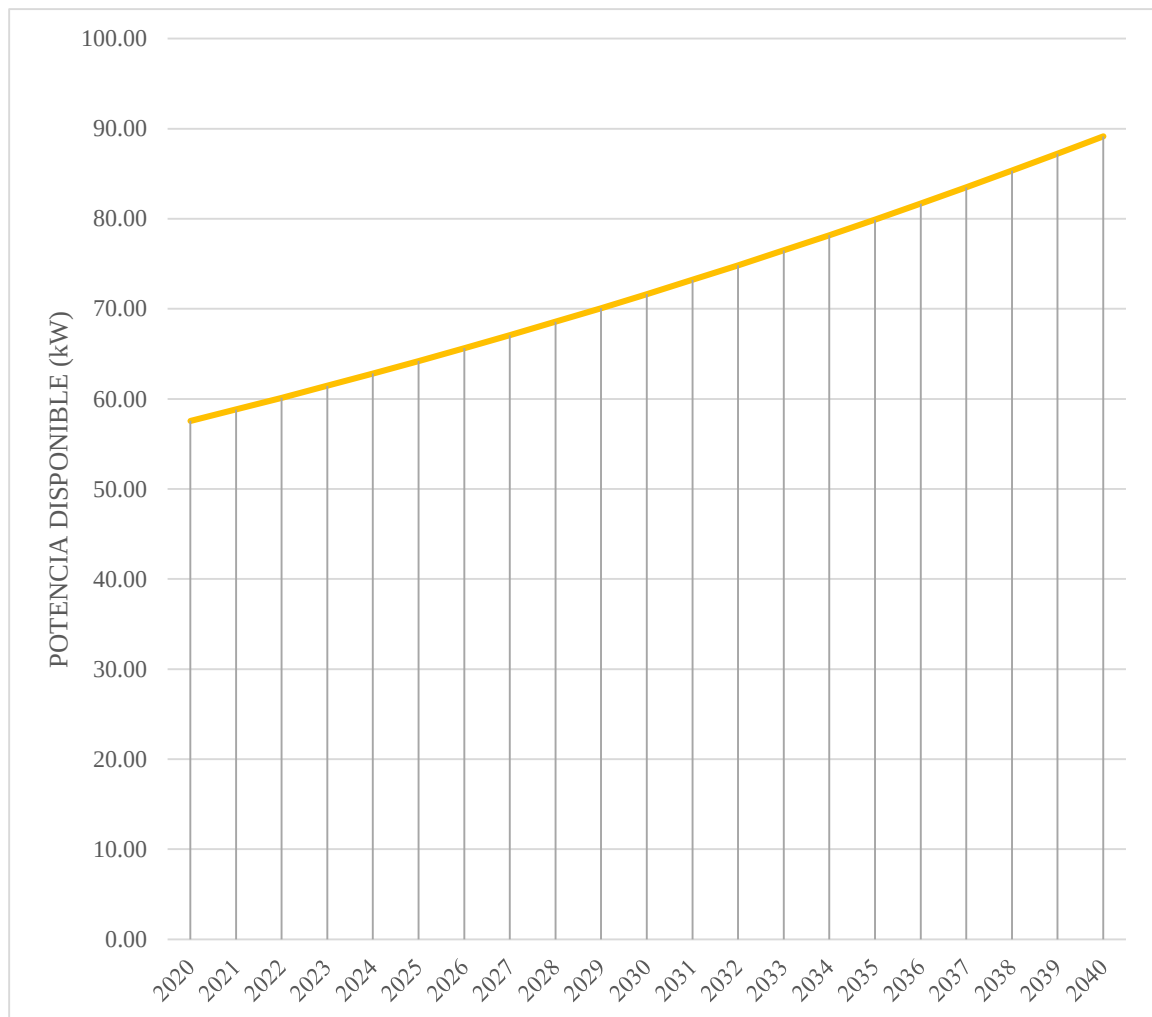


Figura 8. Estimación de la producción total de biogás.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5. Estimación de la potencia disponible para la ciudad de Jaén.

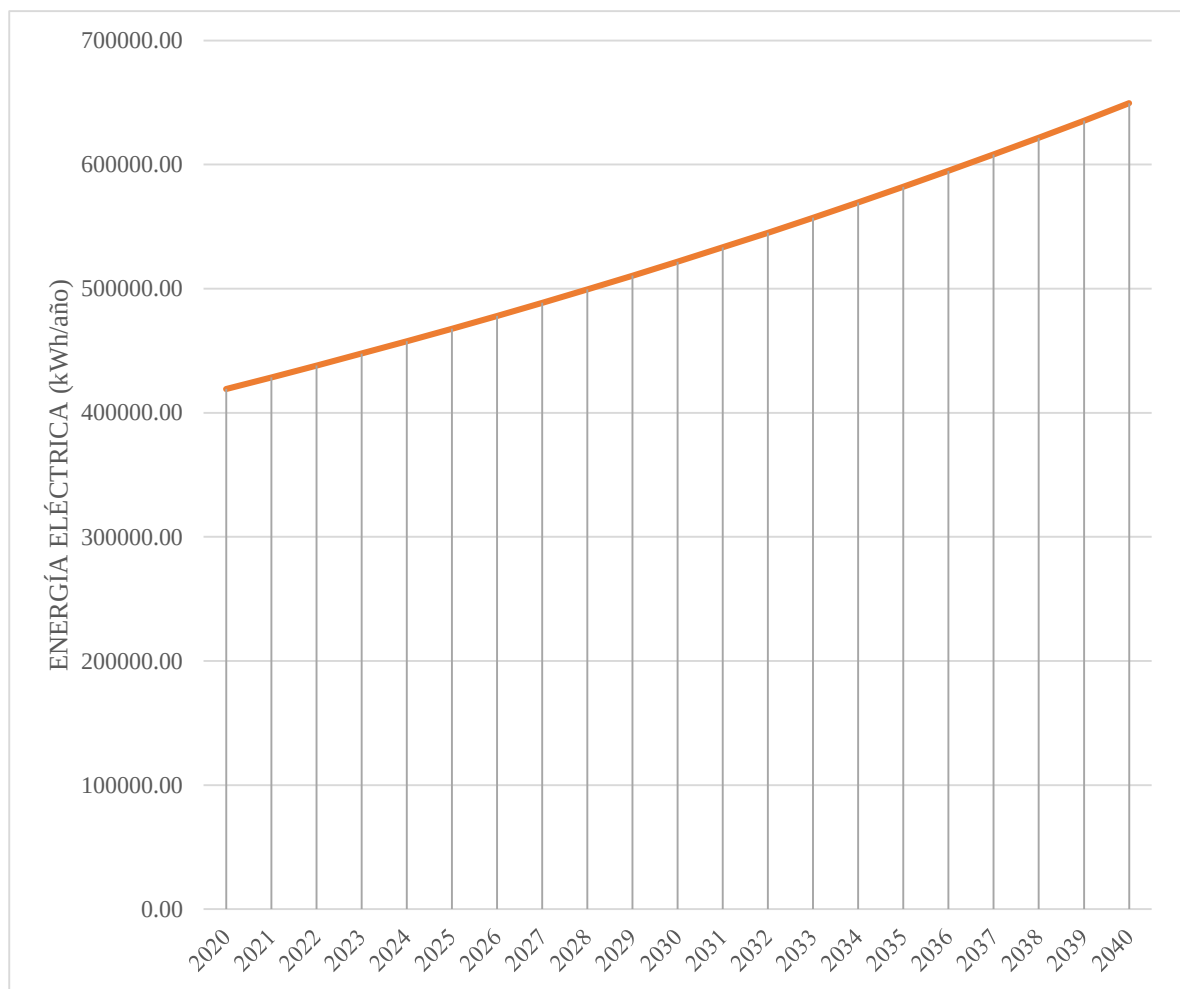
La figura 9 muestra la tendencia de la potencia que se dispondrá diariamente para los años 2020 al 2040; y el cual nos demuestra que para el año 2020 se dispondrá de 57,55 kW diariamente, y para el año 2040 se obtendrá una producción diaria de 89,14 kW para la ciudad de Jaén; el cual muestra una variación anualmente de 1,57 kW.



Fuente: Elaboración Propia

4.6. Energía eléctrica total producida anualmente.

La figura 10 indica la estimación total de la energía eléctrica producida para la ciudad de Jaén; el cual muestra que en el año 2020 la generación total de energía eléctrica producida será de 428 522,64 kW y para el año 2040 la generación total será de 663 758,61 kW; de lo cual se concluye un aumento anual de 11 476 kW aproximadamente; siendo este último año el de mayor generación debido al crecimiento poblacional y por lo tanto al mismo aumento de la generación de los RSO.



Fuente: Elaboración Propia.

4.7. Ingresos por venta de energía eléctrica.

La figura 11 muestra los ingresos obtenidos anualmente producto de la venta de la energía eléctrica; mostrando ganancias para el año 2020 de S/62 007,23 y para el año 2040 ganancias de S/96 050,46; de lo cual se concluye que anualmente las ganancias aumentan S/. 1697,40 más respecto al año anterior.

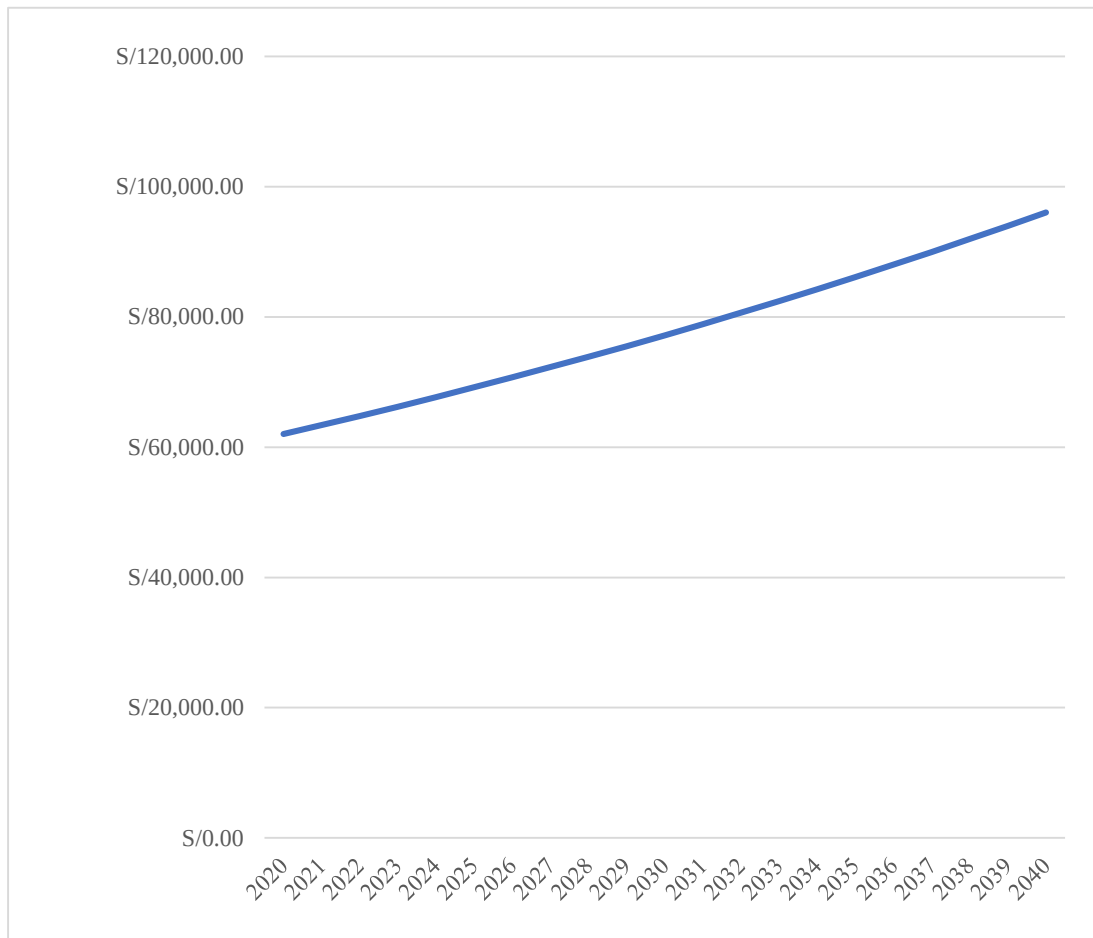


Figura 11. Ingresos obtenidos por la venta de electricidad.

Fuente: Elaboración Propia

4.8. Ingresos por bonos de carbono

La figura 12 indica los ingresos obtenidos por bonos de carbono el cual muestra que en el año 2020 se obtendrán S/7 849,55 y para el año 2040 se obtendrán S/12 158,53; por lo tanto, la variación anual de los ingresos por bonos de carbono es de S/. 214,87 aproximadamente; esto quiere decir que mientras se genere más biogás; los bonos de carbono irán en aumento, todo esto depende también de la generación de los RSO.

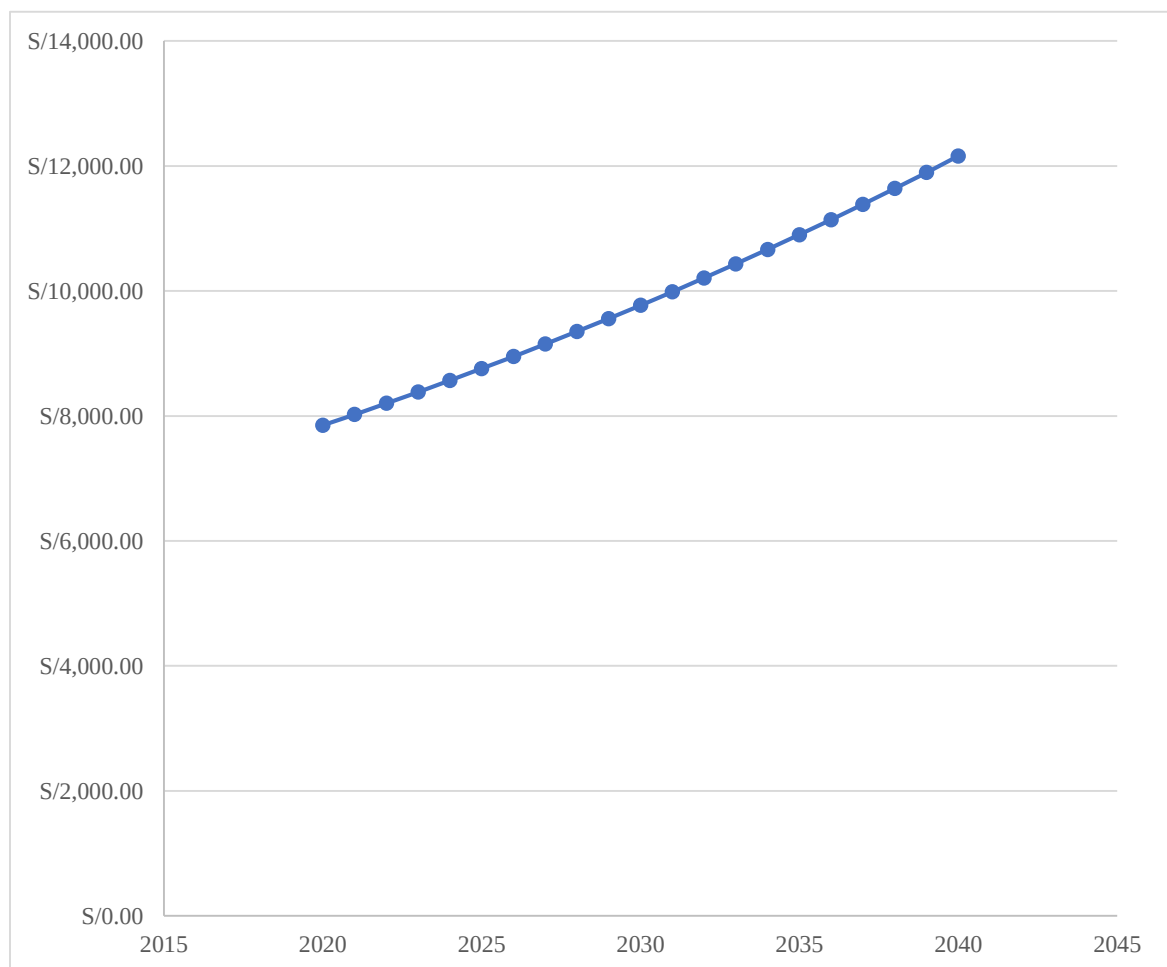


Figura 12. Ingresos anuales por bonos de carbono

Fuente: Elaboración Propia

4.9. Flujo de efectivo neto.

La figura 13 muestra los resultados del flujo de efectivo neto; siendo para el año 2020 de S/69 856,77 y para el año 2040 se obtendrán S/90 480,99; concluyendo que el flujo efectivo anual aumentara anualmente S/.1 682,00; cabe resaltar que estas ganancias son netas ya que para obtener estas ganancias se descontó los gastos operacionales y por mantenimiento.

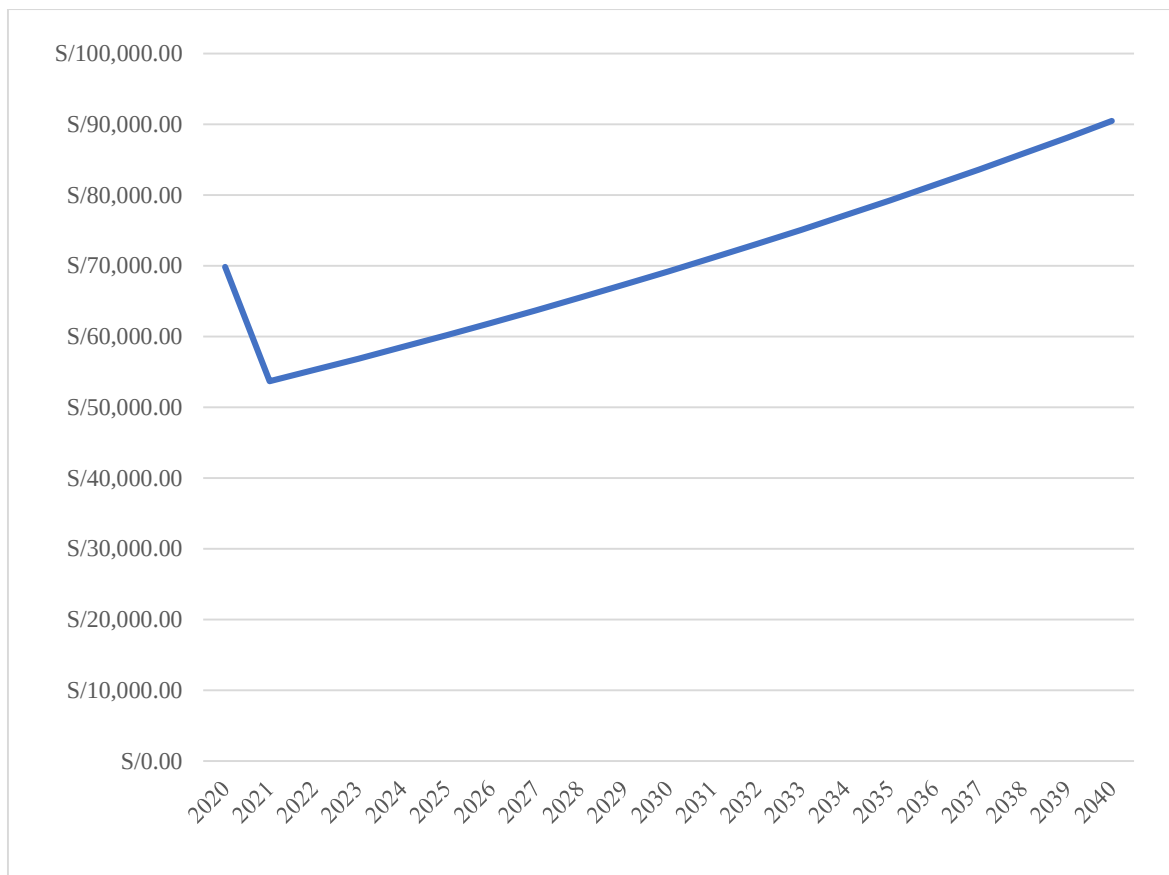
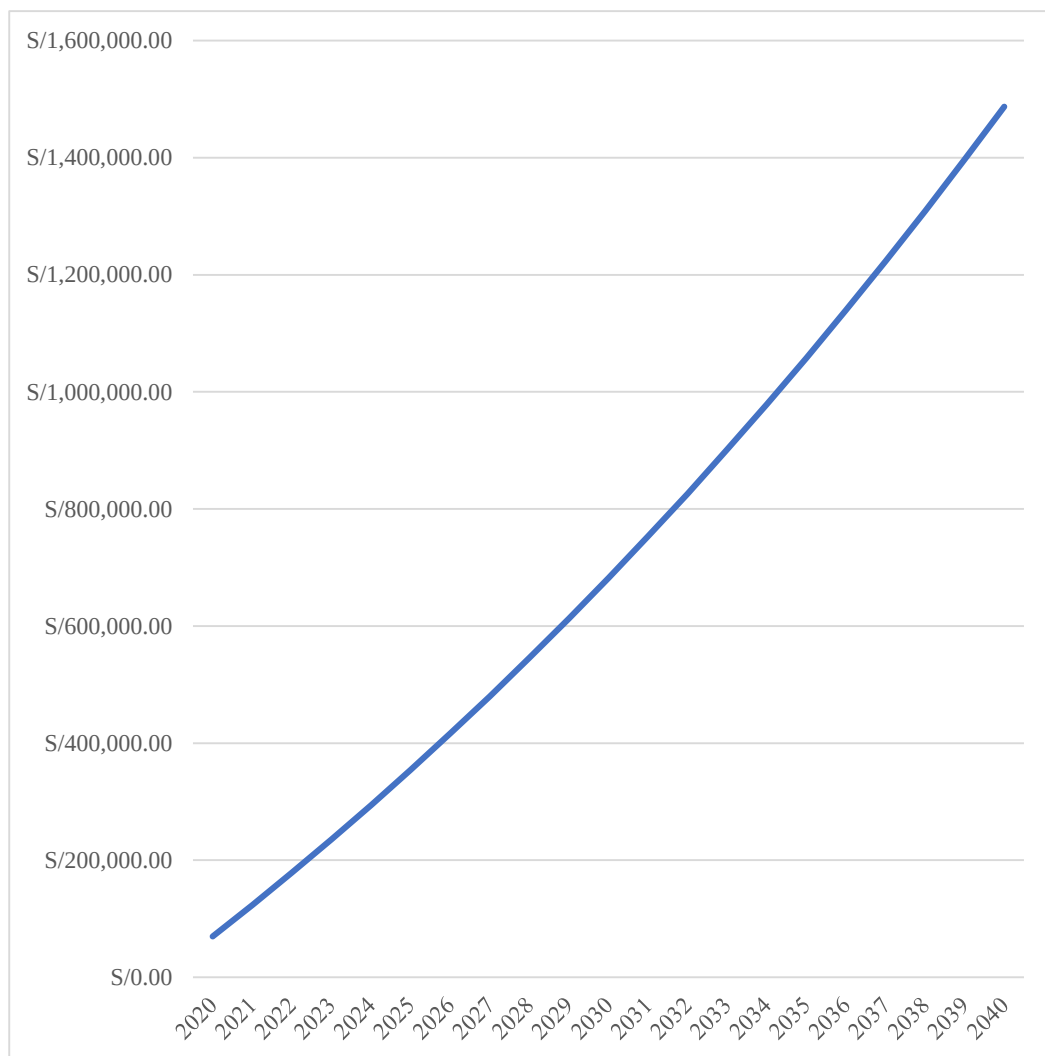


Figura 13. Flujo de efectivo neto estimado.

Fuente: Elaboración Propia.

4.10. Flujo de efectivo acumulado.

La figura 14 representa los resultados de la variación del flujo de efectivo acumulado; el cual nos muestra los flujos de las ganancias acumuladas durante los años 2020 al 2040; llegando a obtener una ganancia acumulada de S/1 487 281,79 siendo esta la ganancia total de la duración del proyecto; donde según la gráfica nos indica que anualmente el dinero acumulado es de S/. 70 630,00 por año.



Fuente: Elaboración Propia

4.11. Indicadores de viabilidad del proyecto

RESULTADOS DE LOS INDICADORES ECONÓMICOS

Tabla 17.

Resultados de la viabilidad del proyecto

Indicadores Económicos	Valores
VAN	S/285 150,25
TIR	9,588%
Payback (años)	9.066
Beneficio/costo	1,958

La tabla 17 muestra los resultados de los indicadores financieros a los que se sometió la viabilidad del proyecto, los cuales fueron calculados con el software Microsoft Excel 2019 y muestran ganancias sustanciales; lo cual indica que el proyecto debe ser aceptado.

V. DISCUSIONES

Para poder estimar el crecimiento poblacional existen muchos otros métodos como el método parabólico, método de los incrementos relativos, método de diferencial de crecimiento, método logístico, entre muchos más; cabe resaltar que cada método no es 100% preciso, sino que siempre se tendrá un grado de incertidumbre, es más los modelos lineales de proyección utilizados pueden ser altamente cuestionables. Sin embargo, el estudio, visto como de prefactibilidad económica, lo justifica ampliamente. Para esta investigación la estimación de la población proyectada desde el año 2020 al 2040 para la ciudad de Jaén, se utilizó el método de crecimiento poblacional del INEI, que está basado en la regresión lineal simple. Ordoñez (2016) utilizó este mismo método para calcular el crecimiento poblacional en Cajamarca. Por otro lado, Cruz y Rosas (2015) utilizaron la curva logística como método para estimar el crecimiento de la población peruana.

Los valores estimados de la GPC para los años 2020 - 2040, fueron calculados mediante la ecuación proporcionada por el ministerio del ambiente (MINAM, 2015), pudiendo ser más precisa si se emplea un estudio completo de la generación de residuos sólidos urbanos para la ciudad de Jaén, tal como lo planteado por la Municipalidad Provincial de Jaén (MPJ, 2012).

En lo que respecta a los valores estimados de la generación de residuos sólidos urbanos para la ciudad de Jaén, estos se obtuvieron multiplicando la GPC por el número de habitantes; resultado que puede variar si se aplican otros métodos para el cálculo del crecimiento poblacional, así como también un estudio completo de los RSU.

Los valores estimados de los residuos sólidos orgánicos, se obtienen multiplicando los RSU por el 73.3% el cual representa el porcentaje de estos residuos según el último estudio realizado por la municipalidad provincial de Jaén en el año 2012 (MPJ, 2012).

La estimación del cálculo del biogás total generado se realizó con el modelo Scholl Canyon, valores que pueden variar si se emplean otros métodos; el modelo empleado, es un modelo empírico de decadencia, ampliamente usado y aceptado, por ser simple y directo, este modelo se fundamenta en la suposición que existe una parte constante de materia degradable en el relleno controlado por unidad de tiempo (Huaylinos, 2018). Este modelo es ampliamente usado por el Banco Mundial y sirvió para estimar la generación de biogás que producía el relleno controlado de Huaycoloro - Perú (Conestoga - Rovers & Associates, 2017).

Para la selección óptima del equipamiento fundamental del sistema de generación de electricidad, en el mercado internacional existen muchas tecnologías que se pueden utilizar para generar electricidad con biogás, tales como turbinas, microturbinas, entre otras, tales como las utilizadas por las centrales termoeléctricas del Perú (Osinerghmin, 2018a, 2018b; 2018c; 2018d; 2018e).

Para el cálculo de la inversión inicial y costos operacionales se utilizó una matriz desarrollada por un estudio de Identificación y clasificación de distintos tipos de biomasa disponibles en Chile para la generación de biogás (CNE-GTZ, 2007 & US EPA, 2005), el cual se adecuó al mercado peruano. Trabajos previos utilizaron esta misma matriz para el cálculo de la inversión inicial y costos operacionales (Ordoñez, 2016; Bravo y Navarrete, 2012).

El costo de la inversión inicial estimado asciende a los S/586 162,90 y los costos operacionales ascienden a S/17 728,00 por año. Si bien estas cifras representan un costo económico importante, la generación de electricidad podrá generar ingresos sustanciales, lo cual se vio reflejado en una relación costo beneficio muy positiva. Adicionalmente, además de los beneficios económicos, también se obtendrán beneficios desde el punto de vista de la salud ambiental, los cuales significarán menor cantidad de gases de efecto invernadero, tal como lo refiere (Espinoza, 2014).

Los ingresos anuales varían puesto que tanto la población, la generación de RSO, la producción de biogás y la generación de electricidad influyen directamente ya que si uno aumenta los demás factores también lo harán, pero de acuerdo a esta investigación para los años 2020 – 2040 se obtendrán en promedio ganancias anuales de S/70 822,94 nuevos

soles; los datos más exactos de las ganancias se encuentran descritos por años en la tabla 13.

Los datos obtenidos en el análisis financiero para determinar la factibilidad del proyecto resultaron ser beneficiosos, ya que la inversión inicial se recupera de manera progresiva en 9 años; el VAN retorna flujos de efectivo, al igual que la TIR nos muestra una tasa de retorno bastante atractiva, y para dar más confiabilidad al proyecto se analizó el análisis beneficio/costo el cual nos indicó que el proyecto muestra ganancias de más del 95%. Ordoñez, (2016); Bravo y Navarrete, (2012) obtuvieron mejores resultados en su análisis financiero; con un análisis beneficio/costo de 9,23 y 9,15 los cuales muestran ganancias más sustanciales para la ciudad de Cajamarca y Pimentel respectivamente.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Para la determinar la demanda de los RSU producido en la ciudad de Jaén; se tuvo que estimar la población en donde se obtuvo para el año 2040, 135 351 habitantes, considerando las ecuaciones de crecimiento poblacional del Instituto Nacional de Estadística e Informática donde se llega a concluir que de acuerdo al último censo nacional del 2015 el crecimiento de la población crecerá en un 1,20 % anualmente. Asi como también se tuvo que estimar la generación Per Cápita la cual asciende a los 0,84 kg/hab/día para el año 2040 en donde por último se determinó una producción de RSU de 40 966,08 toneladas y con una cantidad de residuos orgánicos de 30 028,13 toneladas para el año 2040.
- La cantidad total de biogás estimado obtenido de los RSU es de 790 377,01 m³/año utilizando el modelo Scholl Canyon en el año 2040.
- La selección del equipamiento básico de generación de electricidad a partir de biogás se realizó mediante los datos obtenidos por los cálculos de producción de biogás y de energía eléctrica; en el cual se optó por emplear filtros móviles de carbón activo marca DESOTEC para la purificación del biogás y un motor – generador de origen chino marca NPT con una potencia nominal de 100kW; motor que más se ajusta a los cálculos de generación de electricidad usando biogás con una eficiencia del 92,5% en el alternador.
- Para la generación eléctrica utilizando biogás obtenido de los RSU se necesitará una inversión de S/586 162,90, inversión que cubre los gastos de construcción del biodigestor, compra del motor – generador, terreno, obras civiles, instalación, contingencia, ingeniería, puesta en marcha y gastos operacionales anuales de S/17 728,00 a partir del año 2021.

- Los ingresos netos anuales estimados que se generarán según el análisis económico realizado serán de S/70 822,94 cifra que representa un promedio para los 20 años de duración del proyecto. De acuerdo a esto se concluye que si es económicamente factible la generación de energía eléctrica a partir de biogás en la ciudad de Jaén – Perú, cuyos resultados fueron atractivos para la inversión pública y/o privada. La inversión se termina de pagar totalmente en 9 años. El análisis beneficio/costo del proyecto mostró que por cada sol invertido se obtendrá una ganancia de S/.0,958.

6.2. Recomendaciones

- Si bien los análisis económicos fueron bastante favorables para realizar una inversión, se deberá realizar un análisis mucho más detallado. Al optar por la ejecución de este tipo de proyectos, este análisis tendrá que determinar al detalle la cantidad exacta de material orgánico por estación, ya que, en épocas festivas, por ser Jaén un afluente turístico y culinario, la cantidad de RSO aumenta considerablemente, lo cual favorece la producción de biogás.
- Si bien el análisis de esta investigación es determinar si es factible o no generar energía eléctrica a partir de un proyecto de biomasa, este no es el único producto comerciable como resultado de la digestión anaeróbica, ya que existen riles y digestato, que podrían usarse como aguas de riego y abono orgánico, respectivamente.
- Sería muy recomendable que al realizar un proyecto de generación de energía eléctrica a partir del biogás obtenido de los RSU se piense en realizarlo conjuntamente con una recicladora, ya que de alguna manera se clasificaría el material orgánico de los residuos que tienen valor en la industria del reciclaje.
- Este proyecto podría ser utilizado como referencia por la municipalidad provincial de Jaén, para su evaluación, y posterior ejecución si fuera posible.
- Se recomienda a futuro tesisistas, realizar la evaluación económica más completa teniendo en cuenta la venta del abono, gastos por transmisión y acoplamiento a la red eléctrica.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andino, R. I., y Martínez, K. A. (2015). *Biodigestor: una alternativa de innovación socio – económica amigable con el medio* (tesis pregrado). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua.
- Ávila, M., Campo, R., Brenes, L., y Jiménez, M. (2018). Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago. *Tecnología en Marcha*, 31(2), 159-170.
- Blanco, G.; Santalla, E.; Córdova, V. y Levy, A. (2017). *Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos* (1). Recuperado de <https://publications.iadb.org/es/publicacion/13967/generacion-de-electricidad-partir-de-biogas-capturado-de-residuos-solidos-urbanos>.
- Bravo, E. R., y Navarrete, A. J. (2012). *Evaluación técnica económica para la generación de energía eléctrica a través de una central térmica usando biogás producido por los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Pimentel* (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lambayeque, Perú.
- Comisión Nacional de Energía Deutsche - Gesellschaft für Technische Zusammenar (CNE-GTZ). (2007). Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponibles en Chile para la generación de biogás. Santiago de Chile, Chile.
- Conestoga - Rovers & Associates (2004). *Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean*. Recuperado de <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/18081>
- Coronado, E. N., & Siesquen, K. C. (2017). *Proyecto de prefactibilidad de instalación de una planta de tratamiento de residuos sólidos con relleno sanitario mecanizado y recuperación de biogás, para la ciudad de Chiclayo* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Coss, R. (2005). Análisis y evaluación de proyectos de inversión. Ciudad de México: Limusa S.A.
- Cruz, B. M., y Rosas, C. R. (2015). *Ajuste de la curva logística aplicada en los datos censales de la población peruana, 1836-2007* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.

- Desotec. (2019). AIRCON VL. Recuperado de <https://www.desotec.com/es/solutions/filter-solutions/aircon-vl>
- Espinoza, L. B. (2014). *Beneficios del biogás capturado en un relleno sanitario, transformado a energía eléctrica en el marco del mecanismo de desarrollo limpio - MDL* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Fiares, V. M. Termodinámica. Editorial Revolucionaria. La Habana. 1991.
- Fondo Nacional del Ambiente (FONAM). (2019). *Residuos Sólidos*. Lince, Perú. Recuperado de <http://fonamperu.org.pe/residuos-solidos/>
<http://siar.regioncajamarca.gob.pe/documentos/plan-integral-gestion-ambientalresiduos-solidos-pigars-jaen>
- Gonzales, S., (2019). Producción de Biogás a partir de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU). GACETA del IIUNAM, 1(135), 15-17.
- Huamani, C. (2017). Análisis socioeconómico y ambiental del reaprovechamiento y disposición final de los residuos sólidos en la ciudad de Juliaca, San Román, Puno – 2017 (tesis de pregrado). Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú.
- Huaylinos Sosa, I. A. (2018). Determinación de la potencia eléctrica a partir del biogás obtenido de los residuos sólidos municipales de la provincia de Huancayo (Universidad Continental). Recuperado de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/continental/4601>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2000-2015). *Población del 2000 al 2015*. Lima, Perú. Recuperado de <https://proyectos.inei.gob.pe/web/poblacion/>
- International Council for Local Environmental Initiatives (ICLEI) - Brasil - Governos Locais pela Sustentabilidade. Manual para aproveitamento de biogás. Sao Paulo: Escritorio de Projectos no Brasil, 2009. Vol. 1. 97885-99093-06-1.
- Jaramillo, J. O. (2016). *Evaluación técnico económica para abastecer con biogás generado por estiércol de ganado vacuno para cocinas de la I.E. San Pablo* (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo, Perú.
- Medina, K. A., y Pérez, A. G. (2019). Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica utilizando biogás (Metano) obtenido a partir de residuos sólidos urbanos en Jaén (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Jaén, Jaén, Perú.
- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2014). *Plan Energético Nacional 2014-2025(1)*. Recuperado de

<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/institucional/publicaciones/InformePlanEnerg%C3%ADa2025-%20281114.pdf>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). Guía metodológica para el desarrollo del Estudio de Caracterización para Residuos Sólidos Municipales (EC-RSM) (1ra ed.; M. del Ambiente, Ed.). Recuperado de <http://redrrss.minam.gob.pe/material/20150302182233.pdf>

Ministry of Environment of British Columbia. (2009). *Landfill Generation Assesment, Procedure Guidelines*. Province British Columbia, Canadá.: CRA. Recuperado de [tps://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/waste-management/garbage/lgassessment.pdf](https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/waste-management/garbage/lgassessment.pdf)

Municipalidad Provincial de Jaén. (MPJ). (2012). Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos PIGARS Jaén. Gestión, 278. Recuperado de <http://siar.regioncajamarca.gob.pe/documentos/plan-integralgestion-ambientalresiduos-solidos-pigars-jaen>

NPT Gas Genset. (2019). *Sistema de generador eléctrico del gas natural del motor del Benz de 200kW 250kVA*. Recuperado de <http://m.spanish.gasgenerator-set.com/sale-11299693-200kw-250kva-benz-engine-natural-gas-electric-generator-set-with-iso.html>

Ordoñez, C. A. (2016). *Evaluación técnica económica para generar electricidad a través de una central térmica a partir de biogás en Cajamarca - 2016* (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo, Perú.

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin). (2018a). Central Termoeléctrica Recka (181,3 MW). Recuperado 30 de agosto de 2019, de <http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin). (2018b). Central de Biomasa La Gringa V. 1. Recuperado de https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS GFE/Acordeón/Generación/1.5.3.pdf

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin). (2018c). Central termoeléctrica de biomasa callao (2,4 mw). 99. Recuperado de https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS GFE/Acordeón/Generación/3.7.2.pdf

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin). (2018d). Central Termoeléctrica Huaycoloro. 1. Recuperado de https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS GFE/Acordeón/Generación/1.5.1.pdf

- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin). (2018e). Central Termoeléctrica de Biomasa Huaycoloro II. Recuperado de https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acorde%C3%B3n/Generaci%C3%B3n/3.7.1.pdf
- Pasquevich D. M. (2016). La creciente demanda mundial de energía frente a los riesgos ambientales. Recuperado de http://www.cab.cnea.gov.ar/ieds/images/extras/medios/2011/aapc_la_creciente_demanda_energ_frente_riesgos_amb.pdf
- Pontt, J., Pontt, C., y Guíñez C. (2008). Estudio de la contribución de las ERNC al SIC al 2025: Potencial de la biomasa para la generación eléctrica en Chile al 2025 (Informe Sectorial Final). Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso, Chile.
- Sharma, H. D., & Ready K. R. (2004). “*Geoenvironmental Engineering*”. New Jersey, United States: Ed. John Wiley and Sons.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2005). *Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide*. Washington DC, EU.: Eastern Research Group Morrisville. Recuperado de <https://www3.epa.gov/ttnecatc1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>
- Van Horne J. C, Wachowicz Jr. John M. (2010), "Fundamentos de Administración Financiera", Decimotercera Edición, Ed. Pearson Educación, México, pp. 323-350
- Vera, I., Estrada, M., Martínez, J., y Ortiz, A. (2015). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica. Parte II: residuos sólidos urbanos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XVI (3), 471-478.
- White, Frank M.: Fluid Mechanics 4th ed. McGraw Hill.
- Yepes, V.; Martí, J.V. (2017). Máquinas, cables y grúas empleados en la construcción. Editorial de la Universitat Politècnica de València. Ref. 814. Valencia, 210 pp.

DEDICATORIAS

Este proyecto se lo dedico a Dios quién constantemente me dio fuerzas y sabiduría para poder realizarlo.

A mis padres, por darme lo poco y necesario para salir adelante y cumplir mis sueños.

A todos mis seres queridos por estar siempre presentes, dándome consejos y ayudándome durante toda mi formación profesional.

Omar Paul Pardo Cárdenas

AGRADECIMIENTOS

A Dios;

Por darme la fuerza, sabiduría y valor para lograr cumplir uno de mis sueños.

A mis padres;

Por confiar y darme lo necesario para lograr esta meta.

A mi asesor;

Ingeniero Eduar Jamis Mejía Vásquez, por el apoyo para poder culminar con éxito con nuestra investigación.

ANEXOS

Anexo 1. Potencial de Generación de metano

Caracterización de los residuos	Potencial de generación de metano L0 (m³/tn)
Relativamente Inerte	20
Moderadamente Biodegradable	120
Biodegradable	160

Fuente: (Ministry of Environment of British Columbia, 2009)

Anexo 2. Índice de velocidad de generación del metano

Índice de velocidad de generación de metano K (1/años)			
Precipitación anual	Relativamente Inerte	Moderadamente Biodegradable	Biodegradable
<250 mm	0.01	0.01	0.03
De 250 mm a 500 mm	0.01	0.02	0.05
De 500 mm a 1000 mm	0.02	0.04	0.09
De 1000 mm a 2000 mm	0.02	0.06	0.11
De 2000 mm a 3000 mm	0.03	0.07	0.12
Mayor a 3000 mm	0.03	0.08	0.13

Fuente: (Ministry of Environment of British Columbia, 2009)

Anexo 3. Central Termoeléctrica Recka



CENTRAL TERMOELÉCTRICA RECKA (181,3 MW)

DENOMINACIÓN	CENTRAL TERMOELÉCTRICA RECKA
EMPRESA CONCESIONARIA	SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE S.A.A.
UBICACIÓN Departamento Provincia Distritos Altitud	Lambayeque Chiclayo Reque 22 msnm
DATOS TÉCNICOS DE CENTRAL Potencia Instalada Almacenamiento de Combustible Almacenamiento de Agua Bruta Almacenamiento de Agua Desmineralizada	181.3 MW 2 tanques de 6 200 m ³ c/u 2 tanques de 4 200 m ³ c/u 1 tanque de 600 m ³
DATOS DE LA TURBINA Tipo Combustible	Dual Diésel B5/Gas Natural
DATOS TÉCNICOS DE TRANSFORMADOR Potencia Nivel de Tensión	230 MVA 18/220 kV
DATOS DE CONTRATO Tipo de Contrato Firma del Contrato Puesta en Operación Comercial (POC)	Autorización 15.08.2014 25.09.2015
INFORMACIÓN RELEVANTE - La C.T. Recka se compone de una turbina en ciclo abierto o simple con su respectivo generador de 181.3 MW, transformador de potencia y equipos auxiliares. - La turbina es de tipo dual (Diésel B5/Gas Natural), preparado en un futuro para la combustión de Gas Natural. - También son parte de la central térmica las siguientes instalaciones principales: - Dos tanques de almacenamiento de combustible con una capacidad de almacenamiento total de 10 días de operación. La capacidad de cada tanque es de 6 200 m³. El cubeto que contiene el conjunto de tanques permite contener por lo menos el 110% de la capacidad del tanque de mayor volumen. - Bombas de recepción y transferencia de Diésel B5. - Dos tanques de almacenamiento de agua bruta y Protección Contra Incendios (PCI) con una capacidad de almacenamiento total de 10 días de operación. La capacidad de cada tanque es de 4 200 m³. - Un tanque de agua desmineralizada de 600 m³ de capacidad. - Planta de tratamiento de agua desmineralizada para inyección a la turbina. - Cuenta con Estudio de Pre Operatividad aprobado mediante carta COES/D/DP-1300-2014 del 04.09.2014. - Cuenta con CIRA N° 015-2013 otorgado el 12.08.2013. - Cuenta con EIA aprobado con R.D. N° 382-2014-MEM-DGAAM del 25.07.2014. - Con R.M. N° 228-2015-MEM/DM del 16.05.2015 el MINEM otorgó autorización indefinida para desarrollar la actividad de generación de energía eléctrica. - La concesionaria informó que las pruebas de puesta en servicio iniciaron el 28.08.2015. - Con carta COES/D/DP-1543-2015 del 23.09.2015, el COES aprobó la Puesta en Operación Comercial de la unidad TG1 de la central térmica Recka, desde las 00:00 horas del 25.09.2015, con una potencia efectiva de 181,32 MW. - El monto de inversión fue de 102,53 MMUS\$ aproximadamente.	
ESQUEMA UNIFILAR DE LA CENTRAL	



Zona de Ubicación



Vista panorámica de la central



Turbogenerador y equipos auxiliares



Tanques de almacenamiento de combustible Diésel B5



Balsa de evaporación

Anexo 4. Central de biomasa La Gringa



CENTRAL DE BIOMASA LA GRINGA V (3,2 MW)

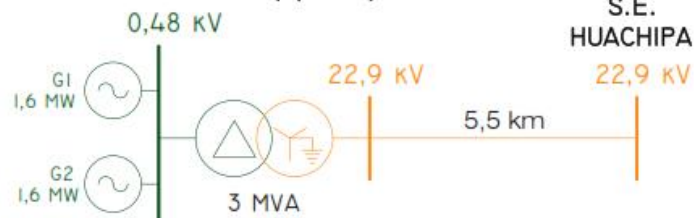
DENOMINACIÓN	CENTRAL DE BIOMASA LA GRINGA V
EMPRESA CONCESIONARIA	PETRAMAS S.A.C.
TECNOLOGÍA	Generación con Biogás
UBICACIÓN	Lima Departamento Provincia Distrito Altitud
DATOS TÉCNICOS DE CENTRAL	3,2 MW 2 Grupos Electrónicos Residuos Urbanos (Gas de Huaycoloro)
DATOS DEL GRUPO	2x1,6 MW (Caterpillar G3520C) 1 200 RPM 0,48 kV
DATOS DEL TRANSFORMADOR	3 MVA 0,48/22,9 kV
DATOS DE CONTRATO	Tipo de contrato Firma de Contrato Puesta en Operación Comercial (POC) Energía Anual Ofertada Precio de energía Ofertado Barra de Conexión

INFORMACIÓN RELEVANTE

- La C.T.B. La Gringa V se encuentra ubicada en las proximidades de Cajamarquilla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima. Contempla la instalación de dos grupos electrógenos de 1,6 MW (c/u) que utilizarán el excedente de biogás de la C.T.B. Huaycoloro.
- La Empresa "Petramás S.A.C." está asumiendo las acciones del Concesionario "Energía Limpia" propietaria del Proyecto Central Biomasa "La Gringa", asumiendo las obligaciones de la inversión del costo total del proyecto.
- El proyecto sufrió retrasos por el cambio de motores Jenbacher 420 (1,4 MW) por Caterpillar G3520C (1,6 MW); por lo cual solicitó la modificación de la fecha de POC.
- Con carta COES/D/DP-412-2015 del 10.03.2015 el COES aprobó el Estudio de Operatividad de la C.T. La Gringa V.
- Con R.D. N° 063-2015-GRL-GRDE-DREM del 25.06.2015, el Gobierno Regional de Lima otorgó la concesión definitiva de generación con Recursos Energéticos Renovables.
- Las obras han sido concluidas.
- La concesionaria presentó las pruebas en blanco de sus equipos.
- Con carta COES/D/DP-1411-2015 del 31.08.2015, el COES aprobó la Operación Comercial de la C.T.B. La Gringa V, con una potencia efectiva de 3,2 MW, a partir de las 24:00 horas del 31.08.2015.
- El monto de Inversión aproximado fue de 5,1 MM US\$.

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA CENTRAL

C.T.B. LA GRINGA V (3,2 MW)



Ubicación



Pozos de extracción de gas



Planta de tratamiento de biogás



Grupo de Generación N° 2

Anexo 5. Central termoeléctrica de biomasa Callao



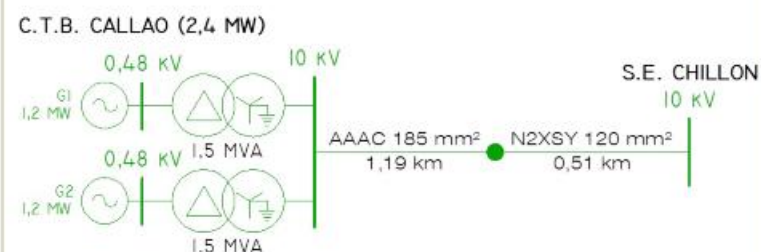
CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE BIOMASA CALLAO (2,4 MW)

EMPRESA CONCESIONARIA		EMPRESA CONCESIONARIA ENERGÍA LIMPIA S.A.C.	
DESCRIPCIÓN			
La C.T. de Biomasa Callao utilizará los recursos provenientes de los residuos sólidos urbanos, tendrá una potencia de 2 MW y producirá 14 500 MWh de energía media anual.			
UBICACIÓN			
Departamento	Lima		
Provincia	Callao		
Distrito	Ventanilla		
Altitud	27 msnm		
DATOS DE LA CENTRAL			
Potencia Instalada	2,4 MW		
Tipo de Central	Termoeléctrica de Biomasa		
N° de Unidades de Generación	2		
Fuente de Energía	Biogás		
DATOS DEL MOTOR		Motor 1	Motor 2
Potencia Nominal	1,2 MW	1,2 MW	1,2 MW
Velocidad Angular	1500 rpm	1500 rpm	1500 rpm
Marca	Caterpillar (Modelo CG170-12)	Caterpillar (Modelo CG170-12)	
Año de Fabricación	2016	2016	
DATOS DEL GENERADOR		G1	G2
Potencia Nominal	1,2 MW	1,2 MW	1,2 MW
Tensión de Generación	0,48 kV	0,48 kV	0,48 kV
Factor de Potencia	0,8	0,8	0,8
Marca	Caterpillar (MG/MIB 450L B4)	Caterpillar (MG/MIB 450L B4)	
Año de Fabricación	2016	2016	
DATOS DEL TRANSFORMADOR		T1	T2
Potencia Nominal	1,5 MVA	1,5 MVA	1,5 MVA
Relación de Transformación	0,48/10 kV	0,48/10 kV	0,48/10 kV
Marca	Por definir	Por definir	
Año de Fabricación	-	-	
DATOS DE CONTRATO		HITOS	
Tipo de Contrato	Suministro RER (4ta Subasta)	Cierre Financiero	22.12.2016 (si)
Firma de Contrato	17.05.2016	Llegada de Equipos	31.08.2017 (no)
Energía Ofertada	14,50 GWh/año	Inicio de Obras	01.11.2017 (si)
Precio de la Energía Ofertada	77,00 US\$/MWh	Inicio de Montaje	01.09.2017 (no)
Puesta en Operación Comercial	31.12.2017	POC	31.12.2017 (no)
INFORMACIÓN RELEVANTE			

INFORMACIÓN RELEVANTE

- El 16.02.2016 se adjudicó a EMPRESA CONCESIONARIA ENERGÍA LIMPIA S.A.C. con el proyecto C.T. de Biomasa Callao, como parte de la Cuarta Subasta de Suministro de Electricidad con Recursos Energéticos Renovables.
- Mediante R.G.R.N. N° 023-2017-GRC-GRRNG del 04.09.2017, el Gobierno Regional del Callao aprobó el DIA del proyecto.
- El 09.02.2017, Osinergmin otorgó la conformidad al Cronograma de Ejecución de Obras de la Concesionaria.
- El 24.05.2017, el COES aprobó el Estudio de Pre Operatividad del proyecto.
- Las obras se iniciaron el 01.11.2017, por demoras en la aprobación del DIA por el Gobierno Regional del Callao.
- El avance físico es de 15%.
- La POC estuvo prevista para el 31.12.2017.
- El monto de inversión aproximado será de 2,5 MM US\$, según lo indicado por la Concesionaria.
- La Concesionaria solicitó al MINEM ampliación de plazo para la POC hasta el 31.12.2018.

DIAGRAMA UNIFILAR



Ubicación



Planta de tratamiento de biogás



Excavación para bases de grupos



Grupo Eléctrogeno en Almacenes de CATERPILLAR en Lima

Anexo 6. Central termoeléctrica Huaycoloro



CENTRAL TERMOELÉCTRICA HUAYCOLORO

DENOMINACIÓN	CENTRAL TÉRMOELÉCTRICA HUAYCOLORO		
EMPRESA CONCESIONARIA	PETRAMAS S.A.C.		
TECNOLOGÍA	Generación Termoeléctrica - Biomasa		
UBICACIÓN	Lima Huarochiri Huaycoloro 60 msnm		
DATOS TÉCNICOS DE CENTRAL	Potencia Instalada 4,0 MW Número de Unidades de Generación 3 Grupos Diesel Fuente de Energía Gas		
DATOS MOTOR COMB. INTERNA	Motor 1 1,6 MW Caterpillar 0,48 kV	Motor 2 1,6 MW Caterpillar 0,48 kV	Motor 3 1,6 MW Caterpillar 0,48 kV
DATOS DE TRANSFORMADOR	Potencia 2 x 3MVA Nivel de Tensión 0,48/22,9 kV		
DATOS DE CONTRATO	Tipo de contrato Contrato RER (Primera Subasta) Firma de Contrato 31.03.2010 Puesta en Operación Comercial (POC) 12.11.2011 Energía Anual Ofertada 28 295 MWh Precio de energía Ofertado 11 Ctsv.US\$ / kWh		
INFORMACIÓN RELEVANTE			
- El 20.02.2010, Petramás obtuvo la buena pro para suministrar energía eléctrica por 20 años al Estado Peruano por un total de 28 295 MWh por año, dentro del marco de la "Primera Subasta para el Suministro de Energía Eléctrica, con Recursos Energéticos Renovables (RER) al Sistema Eléctrico (SEIN)". - El proyecto está compuesto por 250 pozos de captación de biogás; un gasoducto de más de 15 km y una moderna estación de succión y quemado automatizada. - La central genera energía eléctrica a partir de la basura, emplea el biogás generado en las plataformas del relleno sanitario Huaycoloro para la generación eléctrica, para lo cual se ha instalado una moderna estación automatizada de limpieza de biogás, una moderna central de Generación de 4,8 MW, una sala de control, una subestación de elevación de voltaje de 480V a 22 kV, una red de sub transmisión de 5,5 Km y una S.E. de recepción (Luz del Sur) para la interconexión con las redes del SEIN. - La Central Termoeléctrica Huaycoloro ingresó en operación comercial el 12.11.2011 (Carta COES/DP-644-2011), con una potencia efectiva de 2,4 MW; posteriormente, el 29.12.2011, mediante Carta COES/DP-847-2011 se actualizó la potencia efectiva de la C.T a 3,41 MW a partir del 06.012.2011. - Monto aproximado de la inversión es de 10,5 MM US\$.			
UBICACIÓN FÍSICA DE LOS GRUPOS			
C.T.B. HUAYCOLORO (4 MW)			



Planta de tratamiento de Biogás



Quemador de Biogás



Grupos de Generación 3 x 1,6 MW



Central Termoeléctrica Huaycoloro



Línea de subtransmisión 22,9 kV

Anexo 7. Central termoeléctrica de biomasa Huaycoloro II



CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE BIOMASA HUAYCOLORO II (2,4 MW)

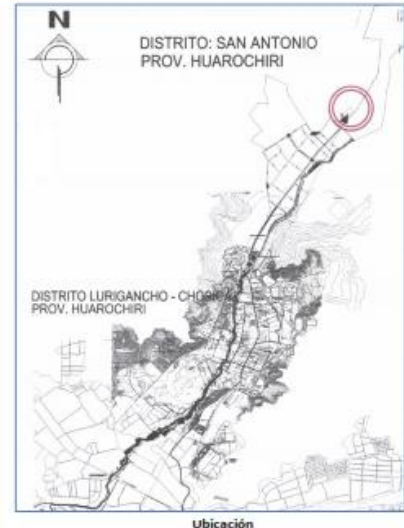
EMPRESA CONCESIONARIA		EMPRESA CONCESIONARIA ENERGÍA LIMPIA S.A.C.	
DESCRIPCIÓN			
El proyecto comprende la implementación de la nueva Central Térmica Biomasa Huaycoloro II, la cual usará el biogás generado en el relleno sanitario de Huaycoloro.			
UBICACIÓN			
Departamento	Callao		
Provincia	Huarochiri		
Distrito	San Antonio		
Altitud	60 msnm		
DATOS DE LA CENTRAL			
Potencia Instalada	2,4 MW		
Tipo de Central	Termoeléctrica de Biomasa		
N° de Unidades de Generación	2		
Fuente de Energía	Biogás		
DATOS DEL MOTOR		Motor 1	Motor 2
Potencia Nominal	1,2 MW	1,2 MW	1,2 MW
Velocidad Angular	1500 rpm	1500 rpm	1500 rpm
Marca	Caterpillar (Modelo CG170-12)	Caterpillar (Modelo CG170-12)	Caterpillar (Modelo CG170-12)
Año de Fabricación	2016	2016	2016
DATOS DEL GENERADOR		G1	G2
Potencia Nominal	1,2 MW	1,2 MW	1,2 MW
Tensión de Generación	0,48 kV	0,48 kV	0,48 kV
Factor de Potencia	0,8	0,8	0,8
Marca	Caterpillar (MG/MIB 450L B4)	Caterpillar (MG/MIB 450L B4)	Caterpillar (MG/MIB 450L B4)
Año de Fabricación	2016	2016	2016
DATOS DEL TRANSFORMADOR		T1	T2
Potencia Nominal	1,5 MVA	1,5 MVA	1,5 MVA
Relación de Transformación	0,48/22,9 kV	0,48/22,9 kV	0,48/22,9 kV
Marca	Por definir	Por definir	Por definir
Año de Fabricación	-	-	-
DATOS DE CONTRATO			HITOS
Tipo de Contrato	Suministro RER (4ta Subasta)	Cierre Financiero	22.12.2016 (si)
Firma de Contrato	17.05.2016	Llegada de Equipos	31.08.2017 (no)
Energía Ofertada	14,50 GWh/año	Inicio de Obras	01.05.2017 (si)
Precio de la Energía Ofertada	77,00 US\$/MWh	Inicio de Montaje	01.07.2017 (si)
Puesta en Operación Comercial	31.12.2017	POC	31.12.2017 (no)
INFORMACIÓN RELEVANTE			
- La Concesión Definitiva para desarrollar la actividad de generación eléctrica en la futura Central de Biomasa Huaycoloro II de 2,4 MW, fue otorgada mediante R.D. N° 025-2018-GRL-GRDE-DREM del 28.02.2018. - El 16.02.2016 se adjudicó a EMPRESA CONCESIONARIA ENERGÍA LIMPIA S.A.C. con el proyecto C.T. Biomasa Huaycoloro II, como parte de la Cuarta Subasta de Suministro de Electricidad con Recursos Energéticos Renovables. - La firma del Contrato de Concesión para el Suministro de Energía Renovable al SEIN se dio el 17.05.2016. La vigencia de este contrato es de 20 años. - El proyecto cuenta con el CIRA y el instrumento ambiental. - La Concesionaria está realizando el trámite para el cambio de nombre por el de Central Termoeléctrica Doña Catalina. - Las obras del proyecto se iniciaron el 01.05.2017. - Los Grupos de Generación llegaron al lugar de las obras el 10.07.2017 y fueron instalados en sus bases. - El 19.01.2018, el COES aprobó el Estudio de Operatividad del proyecto. - La POC estaba prevista para el 31.12.2017 la cual no se cumplió, por ello la Concesionaria incrementó su Carta Fianza y solicitó al MINEM la ampliación de plazo de la POC hasta el 31.03.2018. - La concesionaria realizó un nuevo pedido de ampliación de plazo de la POC para el 01.06.2018 por problemas en la etapa de pruebas finales (falta de uno de los transformadores de tensión) - El avance físico es de 98 %. - El monto de inversión aproximado será de 2,5 MM US\$, según lo indicado por la Concesionaria.			
DIAGRAMA UNIFICAR			

DIAGRAMA UNIFILAR

C.T.B. HUAYCOLORO II (2,4 MW)



División de Supervisión de Electricidad
Unidad de Supervisión de Inversión en Electricidad – Marzo 2018



Ubicación



Grupos CAT N° 1 y 2 de la Central



S.E. Transformación 1,5 MVA – 0,48/22,9 kV



Celdas de Control en Subestación de salida

Fuente: (Osinergmin, 2018e)

Anexo 8. Generación de residuos domiciliarios por distrito

Distrito	Población 2005	Población 2007	Población Proyección 2012	Generación Per Cápita (Kg./hab./día)	Generación RR. SS. Domiciliarios (Ton/día)	Generación RR. SS. Domiciliarios (Ton/mes)
Jaén	79,883	81,632	88,176	0.630	55.55	1,666.52
Bellavista	17,428	17,810	19,237	0.630	12.12	363.58
Chontali	10,344	10,571	11,418	0.630	7.19	215.80
Colasay	12,088	12,353	13,343	0.630	8.41	252.18
Huabal	7,901	8,074	8,721	0.630	5.49	164.83
Las Pirias	3,899	3,984	4,304	0.630	2.71	81.34
Pomahuaca	9,146	9,346	10,095	0.630	6.36	190.80
Pucará	7,046	7,200	7,777	0.630	4.90	146.99
Sallique	7,908	8,081	8,729	0.630	5.50	164.98
San Felipe	5,423	5,542	5,986	0.630	3.77	113.13
San José del Alto	6,608	6,753	7,294	0.630	4.60	137.86
Santa Rosa	12,025	12,288	13,273	0.630	8.36	250.87
Total Provincia	179,699	183,634	198,354	0.630	124.96	3,748.89

Fuente: (Municipalidad Provincial de Jaén, 2012)

Anexo 9. Composición de los residuos sólidos domiciliarios de la ciudad de Jaén

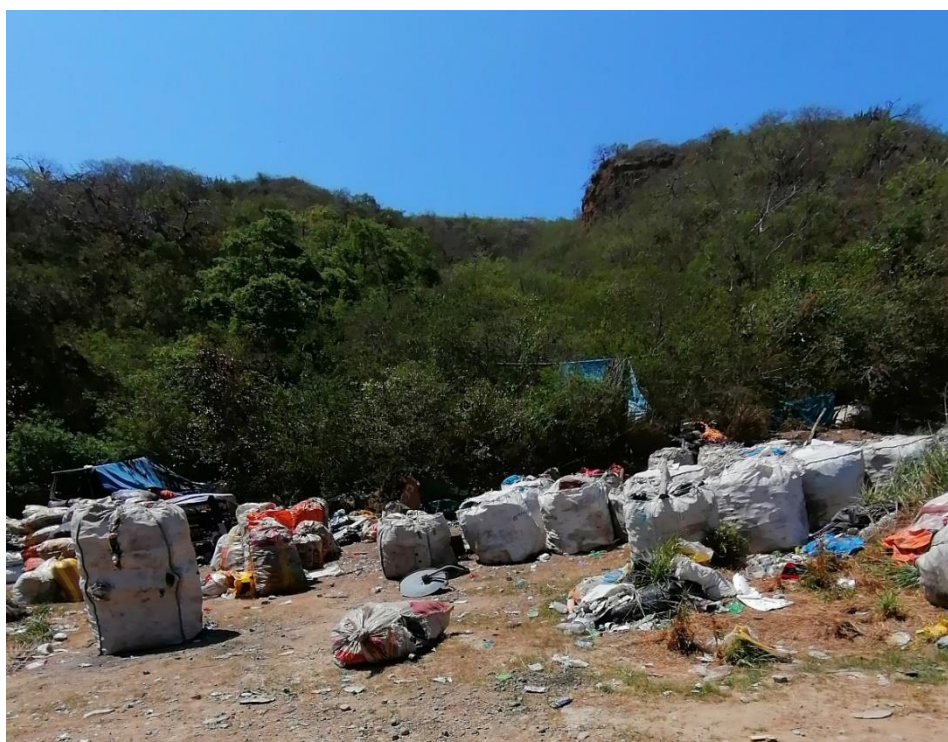
Tipos de Residuos Sólidos		Generación De Residuos Sólidos Domiciliarios									Composición Porcentual
		Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	TOTAL	%
		Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	
1	Materia orgánica	41.91	45.10	37.35	40.30	40.90	51.10	59.93	47.80	364.39	73.30
2	Madera, follaje	1.50	0.41	1.05	0.40	1.00	1.30	2.10	3.15	10.91	2.19
3	Papel	1.75	0.70	0.54	0.55	0.85	0.40	0.85	0.75	6.39	1.28
4	Cartón	0.62	0.60	0.40	0.60	0.60	0.75	0.35	0.25	4.17	0.84
5	Vidrio	0.80	0.80	1.05	1.00	0.30	0.75	0.00	0.90	5.60	1.13
6	Plástico PET	0.60	1.30	0.45	0.55	0.60	0.80	0.60	0.35	5.25	1.06
7	Plástico duro	0.80	0.10	0.40	1.10	0.65	0.45	0.40	0.40	4.30	0.86
8	Bolsas	3.25	0.47	3.75	3.40	5.25	2.50	3.20	3.00	24.82	4.99
9	Tecnopor y similares	0.10	0.25	0.05	0.10	0.00	0.65	0.75	0.10	2.00	0.40
10	Metal	1.20	1.05	0.70	0.80	1.10	1.90	1.90	0.30	8.95	1.80
11	Telas, textiles	0.30	0.75	1.30	0.95	0.25	4.22	0.30	0.25	8.32	1.67
12	Caucho, cuero, jebe	0.10	0.05	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.40	0.08
13	Pilas	0.01	0.09	0.00	0.01	0.00	0.10	0.05	0.00	0.26	0.05
14	Restos de medicina, focos	0.01	0.02	0.05	0.00	0.05	0.15	0.00	0.05	0.33	0.07
15	Residuos sanitarios	2.90	1.52	4.05	2.90	2.60	3.30	3.65	3.60	24.52	4.93
16	Material inerte	5.00	4.00	0.00	0.00	3.00	0.00	4.30	5.60	21.90	4.41
17	Otros *	0.60	1.05	0.50	0.41	0.75	0.23	0.80	0.31	4.65	0.94
TOTAL										497.15	100.00

Fuente: (Municipalidad Provincial de Jaén, 2012)

Anexo 10. Entrada al Botadero Municipal de la Municipalidad Provincial de Jaén



Anexo 11. Recicladores ubicados cerca al botadero



Anexo 12. Residuos sólidos urbanos



Anexo 13. Pozo de lixiviados



Anexo 14. Tabla de coeficientes de dilatación adiabática

Temp.	Gas	γ	Temp.	Gas	γ	Temp.	Gas	γ
-181 °C	H ₂	1,597	200 °C	Aire seco	1,398	20 °C	NO	1,40
-76 °C		1,453	400 °C		1,393	20 °C	N ₂ O	1,31
20 °C		1,41	1000 °C		1,365	-181 °C	N ₂	1,47
100 °C		1,404	2000 °C		1,088	15 °C		1,404
400 °C		1,387	0 °C	CO ₂	1,310	20 °C	Cl ₂	1,34
1000 °C		1,358	20 °C		1,30	-115 °C		1,41
2000 °C		1,318	100 °C		1,281	-74 °C	CH ₄	1,35
20 °C	He	1,66	400 °C		1,235	20 °C		1,32
20 °C	H ₂ O	1,33	1000 °C		1,195	15 °C	NH ₃	1,310
100 °C		1,324	20 °C	CO	1,40	19 °C	Ne	1,64
200 °C		1,310	-181 °C	O ₂	1,45	19 °C	Xe	1,66
-180 °C	Ar	1,76	-76 °C		1,415	19 °C	Kr	1,68
20 °C		1,67	20 °C		1,40	15 °C	SO ₂	1,29
0 °C		1,403	100 °C		1,399	360 °C	Hg	1,67
20 °C	Aire seco	1,40	200 °C		1,397	15 °C	C ₂ H ₆	1,22
100 °C		1,401	400 °C		1,394	16 °C	C ₃ H ₈	1,13

Fuente: (White, Frank M., 1970)

Anexo 15. Matriz de costos empleada en la “evaluación técnica económica para generar electricidad a través de una central térmica a partir de biogás en Cajamarca”.

INVERSION		
Biodigestor	1000	US\$/kW
Generador	216	US\$/kW
Terreno	10	%
Obras civiles	10	%
Instalación	10	%
Contingencia	15	%
Ingeniería	20	%
Puesta en marcha	10	%
Sub Estación	100	%
COSTOS OPERACIONALES		
Operaciones	22,96	US\$/kW-año
Mantenimiento	36,5	US\$/kW-año
Biomasa	0	US\$/Ton MO

Fuente: (Ordoñez, 2016)