



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**TESIS**

**DISEÑO DE UN SISTEMA GENERADOR DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA QUE EMPLEA BIOGÁS A  
TRAVÉS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA  
CIUDAD DE CHICLAYO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Autor:**

**Bach. Chirinos Guerrero Ronald Mauricio**  
**Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6807-1460>**

**Asesor:**

**Mg. Ing. Silvia Yvone Gastiaburú Morales**  
**Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7657-819X>**

**Línea de Investigación:**  
**Infraestructura, Tecnología Y Medio Ambiente**

**Pimentel – Perú**

**2022**

**DISEÑO DE UN SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA QUE  
EMPLEA BIOGAS A TRAVÉS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA  
CIUDAD DE CHICLAYO**

**Aprobación del Jurado**

---

**Mg. Ing. Carlos Alexis Alvarado Silva**

**Presidente del Jurado de Tesis**

---

**Mg. Ing. Juan Carlos Vives Garnique**  
**Secretario del Jurado de Tesis**

---

**Mg. Ing. Silvia Yvone Gastiaburú Morales**  
**Vocal del Jurado de Tesis**

## **DEDICATORIA**

A Dios por siempre darme salud y fuerza, a mis padres por su esfuerzo para que yo pueda lograr ser un profesional, a mis hermanos y familia por cada palabra de aliento y motivación, a mi novia por sus palabras y confianza, por su amor y por brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído siempre en mí, por darme fortaleza, por brindarme valores, ejemplo de superación y enseñarme a valorar todo lo que tengo.

# DISEÑO DE UN SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA QUE EMPLEA BIOGÁS A TRAVÉS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO

**Chirinos Guerrero Ronald Mauricio**

## RESUMEN

*En la presente investigación se describe el diseño de un sistema generador de energía eléctrica que emplea biogás a través de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Chiclayo. La finalidad de esta tesis es aprovechar las grandes cantidades de RSU que se genera en la localidad de Chiclayo, la cual en la actualidad tiene un promedio por habitante de 0.45 kg/día.*

*Para calcular la capacidad de biogás que se puede obtener de los residuos sólidos urbanos se llevó a cabo una proyección de 20 años (año 2040). La estadística arrojó un valor de 0.549 kg/hab/día de residuos sólidos, pero debido a que todo material sólido que se desecha no puede generar energía eléctrica, se consideró que el 50% de RSU es materia orgánica y a través del modelo matemático de Landfill Gas Emission Model (LandGEM) se pudo hallar una cantidad de biogás de 54.23 m<sup>3</sup>/h.*

*Empleando el ciclo termodinámico Brayton se procedió a calcular las potencias de trabajo del compresor y la turbina. Elementos fundamentales del sistema generador de energía eléctrica. El análisis dio una potencia de 644.77 kW para el compresor y 2 361.04 kW para la turbina, mientras que la eficiencia térmica del ciclo es de 43%. El trabajo neto encontrado es de 1.72 MW y es capaz de suministrar electricidad para 13 777 viviendas. Con estos datos obtenidos se procedió a seleccionar un filtro de biogás existente en el mercado, un sistema enlazado de turbina-generador de 1.85 MW y un transformador de 3.2 MVA con voltajes de 10/11/0.4 kV. El análisis económico arrojó un TIR de 28% y una inversión capaz de recuperarse al 4to año de operaciones.*

**Palabras Clave:** Generador, biogás, potencia, turbina, Brayton, residuo.

# DESIGN OF AN ELECTRICAL ENERGY GENERATING SYSTEM USING BIOGAS THROUGH URBAN SOLID WASTE IN THE CITY OF CHICLAYO

Chirinos Guerrero Ronald Mauricio

## ABSTRACT

*This research describes the design of an electric power generator system that uses biogas through urban solid waste in the city of Chiclayo. The purpose of this thesis is to take advantage of the large amounts of MSW that is generated in the town of Chiclayo, which currently has an average per inhabitant of 0.45 kg / day.*

*To calculate the biogas capacity that can be obtained from urban solid waste, a 20-year projection was carried out (year 2040). The statistics yielded a value of 0.549 kg / inhab / day of solid waste, but since all solid material that is discarded cannot generate electrical energy, it was considered that 50% of MSW is organic matter and through the mathematical model of Landfill Gas Emission Model (Land GEM), a biogas quantity of 54.23 m<sup>3</sup> / h was found.*

*Using the Brayton thermodynamic cycle, the working powers of the compressor and the turbine were calculated. Fundamental elements of the electric power generating system. The analysis gave a power of 644.77 kW for the compressor and 2 361.04 kW for the turbine, while the thermal efficiency of the cycle is 43%. The network found is 1.72 MW and it is capable of supplying electricity for 13 777 homes. With these data obtained, we proceeded to select an existing biogas filter on the market, a linked 1.85 MW turbine-generator system and a 3.2 MVA transformer with voltages of 10/11/0.4 kV. The economic analysis showed an IRR of 28% and an investment capable of recovering in the 4th year of operations.*

**Keywords:** Generator, biogas, power, turbine, Brayton, waste

## ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN .....	111
1.1. Realidad Problemática .....	11
1.1.1. Problemática internacional .....	11
1.1.2. Problemática nacional.....	12
1.1.3. Problemática local .....	13
1.2. Antecedentes de estudio.....	14
1.2.1. Internacional .....	14
1.2.2. Nacional.....	15
1.2.3. Local .....	16
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	17
1.3.1. Energía eléctrica .....	17
1.3.2. Generación de energía eléctrica.....	18
1.3.3. Tipos de centrales eléctricas .....	18
1.3.3.1. Central termoeléctrica de ciclo convencional .....	18
1.3.3.2. Central termoeléctrica de ciclo combinado.....	19
1.3.3.3. Central nuclear .....	19
1.3.3.4. Central geotérmica .....	19
1.3.3.5. Central de biomasa.....	19
1.3.3.6. Central hidroeléctrica .....	19
1.3.3.7. Central eólica.....	20
1.3.3.8. Central solar .....	20
1.3.3.9. Central mareomotriz.....	20
1.3.3.10. Central undimotriz.....	20
1.3.4. Biogás .....	20
1.3.5. Composición química del biogás.....	21
1.3.6. Residuos sólidos urbanos.....	21
1.3.7. Residuos orgánicos e inorgánicos.....	22
1.3.7.1. Residuos orgánicos.....	22
1.3.7.2. Residuos inorgánicos.....	22
1.3.8. Sistema generador de energía eléctrica por biogás.....	23
1.3.9. Elementos principales de un sistema generador de energía eléctrica por biogás	23

1.3.10.	Principio de funcionamiento de un generador de energía eléctrica por biogás	24
1.3.11.	Ingeniería y matemática de un sistema generador de energía eléctrica por biogás	25
1.3.11.1.	Producción de biogás	25
1.3.11.2.	Ciclo Brayton Ideal	25
1.3.12.	Definición de términos	29
1.4.	Formulación del problema	30
1.5.	Justificación e importancia del estudio	31
1.5.1.	Justificación ambiental	31
1.5.2.	Justificación económica	31
1.5.3.	Justificación social	31
1.5.4.	Justificación técnica	31
1.6.	Hipótesis	32
1.7.	Objetivos	32
1.7.1.	Objetivo general	32
1.7.2.	Objetivos específicos	32
II.	MATERIALES Y MÉTODO	33
2.1.	Tipo y Diseño de Investigación	33
2.2.	Población y muestra	33
2.3.	Variables y operacionalización	33
2.3.1.	Variable Independiente	33
2.3.2.	Variable Dependiente	33
2.3.3.	Operacionalización de Variables	35
2.4.	Técnica e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	36
2.4.1.	Abordaje metodológico	36
2.4.1.1.	Analítico	36
2.4.1.2.	Deductivo	36
2.4.1.3.	Inductivo	36
2.4.2.	Técnicas e instrumentos	37
2.4.3.	Procedimientos para la recolección de datos	37
2.5.	Procedimiento de análisis de datos	38
2.6.	Criterios éticos	39
2.7.	Criterios de rigor científico	40
III.	RESULTADOS	41
3.1.	Resultados en tablas y figuras	41



3.1.1.	Cantidad de biogás estimada por los residuos sólidos urbanos .....	41
3.1.1.1.	Población actual .....	41
3.1.1.2.	Estimación poblacional .....	42
3.1.1.3.	Cantidad de residuos sólidos urbanos estimados .....	43
3.1.1.4.	Cantidad de biogás estimada .....	45
3.1.2.	Potencia generada por la cantidad de biogás estimada .....	47
3.1.3.	Componentes y elementos del sistema generador de energía eléctrica .....	54
3.1.3.1.	Almacenamiento de materia orgánica .....	54
3.1.3.2.	Filtro de biogás .....	55
3.1.3.3.	Turbina de gas .....	56
3.1.3.4.	Generador .....	56
3.1.3.5.	Transformador eléctrico .....	57
3.1.4.	Cantidad de viviendas que puede cubrir la potencia eléctrica generada .....	58
3.1.5.	Evaluación económica del proyecto .....	59
3.1.5.1.	Inversión e ingresos anuales .....	61
3.1.5.2.	VAN y TIR .....	62
3.2.	Discusión de resultados .....	63
I.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	64
1.1.	Conclusiones .....	64
1.2.	Recomendaciones .....	65
	REFERENCIAS .....	66
	ANEXOS .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Corriente eléctrica .....	17
Figura 2:	Generación de energía eléctrica .....	18
Figura 3:	Residuos sólidos urbanos .....	21
Figura 4:	Residuos orgánicos .....	22
Figura 5:	Residuos inorgánicos .....	22
Figura 6:	Energía eléctrica por biogás .....	23
Figura 7:	Sistema generador de electricidad por biogás .....	24
Figura 8:	Ciclo abierto de una turbina de gas .....	27
Figura 9:	Ciclo cerrado de una turbina de gas .....	27
Figura 10:	Turbina de gas .....	48
Figura 11:	Turbina de gas .....	48
Figura 12:	Filtro de biogás Desotec Aircon HD .....	55
Figura 13:	Turbina de gas KG2 .....	56

Figura 14: Sistema de generación eléctrica por gas .....	57
Figura 15: Transformador de potencia 10/11/0.4 kV – 3.2 MVA.....	58

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: <i>Diagrama P-V del Ciclo Brayton Ideal</i> .....	26
Diagrama 2: <i>Caja Negra para variables</i> .....	34
Diagrama 3: <i>Procedimiento para la recolección de datos</i> .....	38
Diagrama 4: <i>Procedimiento para el análisis de datos</i> .....	38
Diagrama 5: <i>Diagramas P-V y T-S del Ciclo Brayton Ideal</i> .....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Operacionalización de variables</i> .....	35
Tabla 2: <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i> .....	37
Tabla 3: <i>Población actual de la provincia de Chiclayo</i> .....	41
Tabla 4: <i>Estimación de la población de la ciudad de Chiclayo al 2040</i> .....	43
Tabla 5: <i>Ratio de kg/hab/día de RSU de la ciudad de Chiclayo</i> .....	44
Tabla 6: <i>Residuos sólidos urbanos de la ciudad de Chiclayo proyectados en 20 años</i> .....	44
Tabla 7: <i>Materia orgánica proyectada de los RSU</i> .....	45
Tabla 8: <i>Cantidad de metano presente en la materia orgánica de los RSU</i> .....	46
Tabla 9: <i>Cantidad de biogás estimada</i> .....	47
Tabla 10: <i>Parámetros del transformador de potencia</i> .....	57
Tabla 11: <i>Datos operacionales de centrales termoeléctricas existentes en el Perú</i> .....	60
Tabla 12: <i>Datos operacionales del sistema generador de 1.72 MW por biomasa</i> .....	61
Tabla 13: <i>Datos operacionales del sistema generador de 1.72 MW por biomasa</i> .....	62

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad Problemática**

#### **1.1.1. Problemática internacional**

En América Latina y el Caribe el manejo de los residuos sólidos urbanos es responsabilidad de los gobiernos locales, pero debido a la complejidad e inversión económica que esto implica en la mayoría de veces no se ha logrado el objetivo. La no prioridad al saneamiento de las ciudades genera que las prestaciones no engloben a toda la comunidad y las normas de salubridad no sean cumplidas (Darci Campani, Rosalba Sarafian, & Tello Espinoza, 2018).

El crecimiento poblacional, la industrialización, los distintos hábitos de consumo de la ciudadanía entre otros factores han ocasionado en países como México, estar dentro de los diez primeros productores de residuos sólidos urbanos de las naciones que conforman la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). En el 2014 el país de América del Norte sobrepasó los 37 millones de toneladas (Macías Lam, Páez Bernal, & Torres Acosta, 2018).

Según el Banco Mundial, la población de los 7 continentes anualmente está generando un total de 2010 millones de toneladas de desechos sólidos urbanos. En el 2018 proyectaron que en los próximos 30 años la cantidad de residuos aumenten en un 70%, alcanzando una cifra de 3400 millones de toneladas de residuos (Banco Mundial, 2018).

En la actualidad existe un proceso de gasificación que aprovecha los residuos sólidos para producir gas combustible, el cual es sometido a procesos de limpieza para ser utilizado en la generación de energía eléctrica mediante su combustión. Japón cuenta con dos plantas de gasificación, mientras que en Europa existen 7 plantas en países como Noruega, Reino Unido y Alemania.

Noruega tiene 2 plantas que procesan un aproximado de 78 000 ton/año (Darci Campani, Rosalba Sarafian, & Tello Espinoza, 2018).

### **1.1.2. Problemática nacional**

Debido al aumento de habitantes urbanos, el Perú es un país que sufre de grandes problemas correspondiente a limpieza pública. El 75% de la población peruana vive en ciudades y en promedio, un peruano logra generar más de 0.5 kg de residuo sólido al día. Hace 10 años el volumen de basura alcanzaba las 13 000 toneladas por día. El 50% de dichos residuos sólidos urbanos no eran gestionados de manera correcta, logrando ensuciar y contaminar las ciudades, calles, quebradas, playas, ríos, etc. (Valdera Collantes, 2018)

En el 2013, el país de América del Sur logro generar 18 533 toneladas de residuos sólidos urbanos por día, de esta cifra, el recojo y transporte llegaron en promedio a 16 216 toneladas por día, es decir el 87.5% del volumen total, aunque solo 7 656 toneladas por día fueron colocados en rellenos sanitarios, mientras que lo restante acabaron en botadores municipales y otros destinos desconocidos (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018).

Durante el año 2014, el Perú alcanzo un total de 7 millones 497 mil toneladas de residuos sólidos municipales generados. El 64% de esta cifra correspondió a residuos domiciliarios, mientras que un 26% a residuos no domiciliarios. Lima fue una de las ciudades que más residuos sólidos urbanos generó, 7 400 toneladas por día, con un promedio aproximado de 0.65 kg por ciudadano (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018).

Perú es un país que genera en la actualidad un valor aproximado de 19 mil toneladas de residuos sólidos urbanos por día, logrando alcanzar una cifra de 6.93 millones de toneladas por año, de los cuales el 52% de este total anual son dispuestos en rellenos sanitarios (Buendía Rojas, 2019).

En el Perú, el mayor porcentaje de residuos sólidos urbanos corresponde a materia orgánica, este tipo de residuo representa el 50.43% de la cantidad total (Davila Torres & Espinoza Altamirano, 2018).

### **1.1.3. Problemática local**

Chiclayo es una ciudad en donde se puede encontrar residuos acumulados en esquinas, calles, plazas, acequias o mercados. Esto genera que la capital de Lambayeque tenga un aspecto desordenado y sucio, además dichos residuos contaminan el aire, el agua y el medio ambiente en general (Burga Polo, 2015).

En el 2006 la generación de residuos sólidos de Chiclayo fue de 459 ton/día, de esta cantidad solo 322 toneladas fueron recogidas y el restante, el cual significa que un 27.7% del total de residuos sólidos, se quedó por recoger (Burga Polo, 2015).

La provincia de Chiclayo genera un aproximado de 400 ton/día de residuos sólidos, de los cuales solo se recolecta 180 toneladas y lo restante está abandonado entre calles y avenidas (Radio Programas del Perú, 2019).

En Chiclayo existen lugares comerciales como el mercado Moshoque que genera diariamente 40 toneladas de residuos inorgánicos y orgánicos que en general son desperdicios de grandes porciones de frutas como piñas, naranjas y papayas y de restos de verduras que han parecido (Carlos Cajó & Tineo Flores, 2017).

La Sub Gerencia de Gestión de Residuos Sólidos, unidad responsable de la limpieza de la ciudad de Chiclayo, indico que la población local del distrito genera 0.45 kg de residuos sólidos por persona en un día, la cual pasa a ser un aproximado de 130 toneladas en 24 horas debido a que el distrito posee 288 360 habitantes (Infante Carbonel, 2019)

## **1.2. Antecedentes de estudio**

### **1.2.1. Internacional**

(Montiel-Bohórquez & Pérez, 2019) Hicieron un estudio asociado a la generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos y las estrategias termodinámicas para optimizar el desempeño de centrales térmicas. Considerando la producción de RSU en Medellín, Colombia de 1800 ton/día, plantearon un análisis basado en un modelo de equilibrio termoquímico del proceso de gasificación, en donde estudiaron el efecto de la humedad y la relación aire-combustible. Mediante cálculos termodinámicos hallaron una relación aire-combustible de gasificación entre 1.5 y 3.3, el cual no depende del porcentaje de humedad de los residuos sólidos urbanos, además cuantificaron la potencia energética de los RSU de la ciudad de Medellín, obteniendo valores que van de 28 a 44 MW. Pudieron concluir que el aumento de contenido de humedad de los residuos sólidos urbanos (RSU) impacta de manera negativa en el proceso termoquímico.

(Guerra Rosales, 2016) Realizó una investigación asociada a la generación eléctrica mediante gasificación por plasma de residuos sólidos municipales en Santiago de Chile. Planteando un diseño conceptual de la planta tomando en cuenta factores como ubicación, tipos de residuos y equipos principales, realizó cálculos físicos empleando un modelamiento del proceso a través de GasifEq y conceptos termodinámicos y químicos. De esa manera se halló una potencia de 13.04 MW y un rendimiento de 22.86% de la central sin fabricación de lana mineral, mientras que, con la fabricación de lana mineral, los datos encontrados fueron de 12.63 MW y 22.13% para la potencia y rendimiento correspondientemente. El análisis económico del proyecto arrojó un Tasa Interna de Retorno (TIR) de 7.7% para una inversión cercana a los 104 MM USD, que pudo mejorar a la medida que se redujo los costos de operación y se aumentó el precio de venta y la producción mensual y anual de la planta.

(Hernández López, 2015) Diseñó una planta de gasificación de residuos sólidos urbanos para generación de electricidad con una pila de combustible en Sevilla, España. Analizando los contaminantes presentes en el gas y las técnicas de eliminación de las mismas, seleccionó la mejor alternativa de gasificación, la cual se basó en un lecho fluido burbujeante con aire. En el estudio de las condiciones de operación se verificó que la dilución del gas, la temperatura de entrada del gas, la densidad de corriente que puede producir la pila, la temperatura de operación del equipo y el factor de utilización del combustible son los factores más influyentes en la maximización de la generación de energía eléctrica. Los cálculos arrojaron un total de 150 000 celdas unitarias, equivalente a 1 500 m<sup>2</sup> de área de pila, para la generación de 3 MW. La investigación demostró una alternativa energética de alto rendimiento incluso superior a otras fuentes de generación existentes.

### **1.2.2. Nacional**

(Medina Quiroz & Pérez Calderón, 2019) Realizaron el diseño de un sistema de generación de energía eléctrica utilizando biogás (metano) obtenido a partir de residuos sólidos urbanos en Jaén – Perú. Con la intención de evitar una mayor contaminación ambiental a causa de los residuos sólidos urbanos (RSU) y demostrar el gran potencial energético de estos, dimensionaron un sistema ingenieril capaz de generar energía eléctrica a través del metano presente en los RSU. Para esto hicieron la proyección de la cantidad de biogás que se obtendrá para el año 2039 en la ciudad de Jaén a partir de residuos sólidos urbanos, y mediante un análisis matemático siguiendo el modelo School Canyon hallaron el volumen de metano para tal periodo propuesto, el cual fue de 7812912 m<sup>3</sup>/año. Empleando los ciclos termodinámicos Joule Brayton pudieron estimar una potencia generada de 4.3 MW y eso les permitió seleccionar equipos eléctricos como un transformador de 10 MVA con 3 devanados (13.8/22.9/380 kV). La ejecución del proyecto puede cubrir hasta 4300 viviendas y la inversión del mismo tiene un periodo de retorno de 3 años con 4 meses.

(Ortiz Núñez, 2017) Diseñó una central eléctrica de biomasa conectado a la red eléctrica Puno, en el Cerro de Cancharani – Departamento de Puno. Sabiendo el sitio en donde son puestos a disposición los residuos sólidos urbanos generados por la ciudad de Puno (Botadero de Cancharani), se estimó la cantidad de gas que puede ser obtenida empleando la Guía Técnica para la Medición, Estimación y Cálculo de las emisiones de Aire. Se halló un flujo volumétrico de 53 325 m<sup>3</sup>/h de metano, y partiendo de ese dato se seleccionó una planta eléctrica a biogás de 65 kW y un transformador de 75 kVA que sirvió para conectar la planta a la red eléctrica de media tensión existente. Los parámetros de operación de la central eléctrica diseñada mostraron que fue posible aprovechar las emisiones de metano de un botadero con capacidad de 3 0327 mil toneladas, el cual nunca tuvo otra función más que impactar de manera muy negativa al ambiente de la ciudad de Puno.

(Castañeda Silva & Herrera García, 2019) Llevaron a cabo el diseño de un sistema de generación de energía eléctrica utilizando biogás producido por estiércol de ganado vacuno para la Hacienda El Potrero Bellavista – Jaén, Perú. Teniendo en cuenta el gran potencial energético del estiércol producido por reses y la potencia instalada de la Hacienda de 10.04 kW, diseñaron un biodigestor tipo tubular capaz de producir hasta 3.35 m<sup>3</sup>/h de metano y seleccionaron un filtro para poder purificar el biogás y eliminar el ácido sulfhídrico, el cual fue un Diybiogas ES-50L de acero inoxidable. Los cálculos realizados arrojaron una potencia eléctrica del generador de biogás de 10 kW y un flujo volumétrico de 3.3 m<sup>3</sup>/h. El análisis económico brindó un periodo de retorno aproximado de 6 años por una inversión de 33 030 soles.

### **1.2.3. Local**

(Fernández García, 2019) Ejecutó una investigación sobre la generación de energía eléctrica mediante gasificación de la cascarilla de arroz para un molino en Lambayeque. Después de distintas visitas a molinos dentro de la Provincia de Lambayeque, se identificó el no aprovechamiento en cuestiones

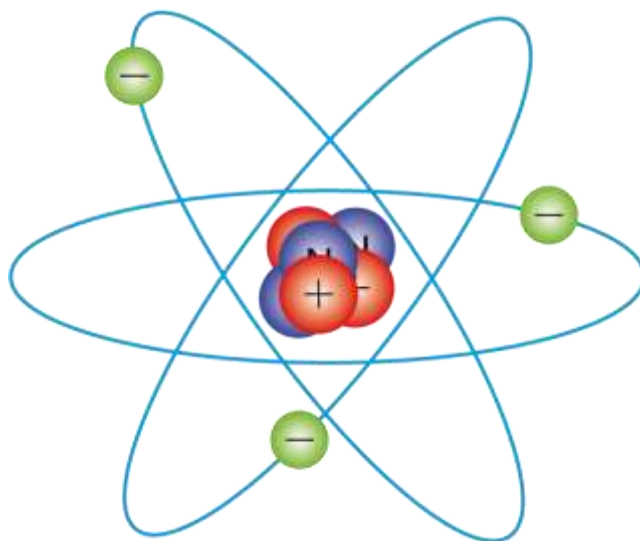


energéticas de la cascarilla de arroz. Con el objetivo planteado se propuso un sistema de gasificación de lecho móvil en corrientes paralelas o down draft, la cual empleó una cantidad de 6 307.2 toneladas de biomasa por año. Mediante cálculos físicos se calculó una potencia de 607 kW para el volumen total de biomasa con un flujo másico de 0.28 kg/s del gasificador. El estudio económico arrojó un VAN de 113 293 y un TIR de 11.53%. Estos datos sirvieron para que se demostrase la viabilidad del proyecto.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1. Energía eléctrica**

Es la energía que se crea por el movimiento de las cargas eléctricas (electrones y protones) dentro de un material conductor. La energía eléctrica como las demás energías, no se crea ni se destruye, solo se transforma, en este caso puede convertirse en energía mecánica, térmica y luminosa (Twenergy, 2019).



**Figura 1: Corriente eléctrica**

**Fuente: Fidestec, 2019**

### 1.3.2. Generación de energía eléctrica

La energía eléctrica para altas demandas se genera en centrales eléctricas. La forma más conocida y habitual de generar electricidad es usando un alternador, el cual es capaz de convertir energía mecánica en energía eléctrica. En la actualidad existen diversos tipos de centrales eléctricas como eólicas, fotovoltaicas, termoeléctricas, etc. (EcuRed, 2020).

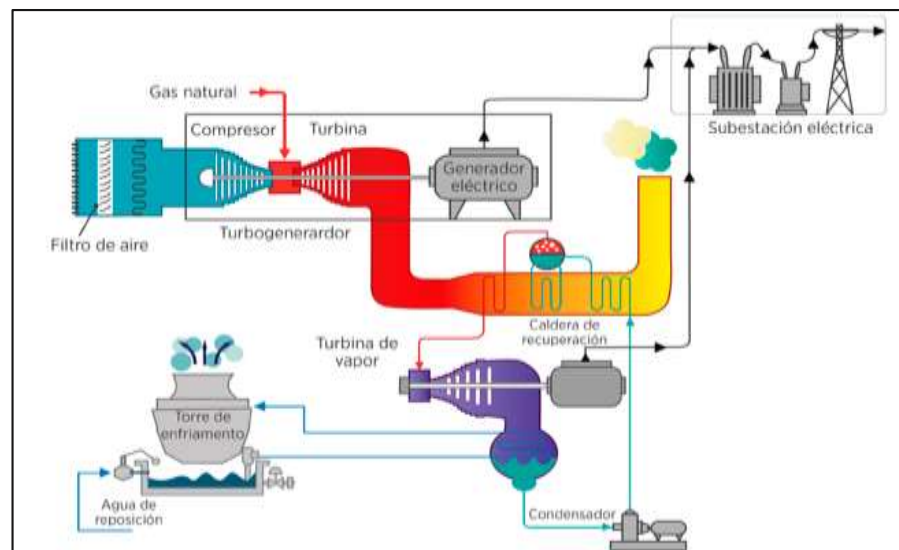


Figura 2: Generación de energía eléctrica

Fuente: EcuRed, 2020

### 1.3.3. Tipos de centrales eléctricas

Las centrales eléctricas encargadas de generar electricidad son las siguientes (Endesa, 2020):

#### 1.3.3.1. Central termoeléctrica de ciclo convencional

Emplean carbón, gasóleo o gas natural que al quemarse aumentan la temperatura de un depósito de agua, la cual luego se transforma en vapor capaz de mover una turbina. Un alternador conectado a la turbina transforma la energía mecánica generada en energía eléctrica y al finalizar, el vapor es condensado para volverse agua y empezar el ciclo nuevamente.

### **1.3.3.2. Central termoeléctrica de ciclo combinado**

Su principio de funcionamiento se basa en una turbina que logra moverse con el vapor del agua calentada y además cuenta con otra turbina distinta que puede moverse con aire tomado de la atmósfera que es calentado a través de combustibles. Este tipo de centrales son más eficientes que las centrales termoeléctricas de ciclo convencional, más ecológicas debido a que generan menos emisiones y más flexibles ya que pueden operar a carga máxima o a mitad de carga según los requerimientos.

### **1.3.3.3. Central nuclear**

Aprovecha la energía liberada por la fisión nuclear que es capaz de calentar grandes cantidades de agua a alta presión a través de un reactor. El vapor mueve una turbina la cual al estar conectada con un generador produce energía eléctrica. Este tipo de centrales emplean uranio como combustible.

### **1.3.3.4. Central geotérmica**

Emplea el calor natural brindado por el interior de la tierra mediante canalizaciones en el subsuelo para calentar agua que emite vapor y hace mover una turbina.

### **1.3.3.5. Central de biomasa**

Este tipo de centrales aprovecha el calor generado mediante la quema de materia orgánica o distintos tipos de residuos.

### **1.3.3.6. Central hidroeléctrica**

Utiliza la energía potencial del agua que es capaz de mover una turbina hidráulica que al estar conectada a un generador produce electricidad.

#### **1.3.3.7. Central eólica**

El viento genera movimiento de rotación en los álabes de una turbina que mediante un sistema a base de un generador es capaz de producir electricidad.

#### **1.3.3.8. Central solar**

Hay 2 tipos de centrales solares, las centrales fotovoltaicas que usan la energía luminosa proporcionada por el sol para transformarla en electricidad mediante el empleo de células fotovoltaicas, y las centrales termosolares que aprovechan el calor del sol para elevar la temperatura del agua a tal punto de generar vapor capaz de mover una turbina.

#### **1.3.3.9. Central mareomotriz**

Las subidas y bajadas de las mareas logran accionar una turbina que está conectada a un generador eléctrico.

#### **1.3.3.10. Central undimotriz**

Usan los movimientos de agua brindados por las bajadas y subidas del oleaje para mover una turbina que está conectada a un generador eléctrico.

#### **1.3.4. Biogás**

Es un combustible en forma de gas que se obtiene mediante la descomposición de residuo orgánico. El biogás se genera en el proceso conocido como digestión anaeróbica, la cual consiste en la producción de biogás por falta de oxígeno debido a la acción de distintas bacterias (Redagrícola, 2017).

### 1.3.5. Composición química del biogás

El metano ( $CH_4$ ) es el compuesto principal del biogás y el encargado de brindarle su valor energético, representa un valor que oscila entre el 50 y 70% del gas, lo restante es dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y otros compuestos que funcionan como impurezas (Redagrícola, 2017).

### 1.3.6. Residuos sólidos urbanos

Son aquellos residuos que se generan en los centros de las localidades como producto de la actividad diaria del habitante de una ciudad. Los RSU conforman un gran porcentaje de la biomasa que es empleada para la generación de energía eléctrica, ya sea como materia prima o usándolos para producir combustible (Ambientum, 2020).



Figura 3: Residuos sólidos urbanos

Fuente: Emgirs, 2020

### 1.3.7. Residuos orgánicos e inorgánicos

#### 1.3.7.1. Residuos orgánicos

Conocidos también como biorresiduos caseros, son desechos biodegradables de origen animal o vegetal que se generan en el ámbito comercial o domiciliario. La fracción orgánica está constituida generalmente por restos de alimentos (Cslapalma, 2020).



**Figura 4: Residuos orgánicos**

**Fuente: Ecoticias, 2020**

#### 1.3.7.2. Residuos inorgánicos

Es todo desecho que no es de origen biológico. Es generado en el ámbito industrial o doméstico, generalmente son materiales sintéticos, plásticos, papel, envases y envoltorios, chatarra, vidrios, etc. Los plásticos constituyen casi el 9% del total de la basura que suele producirse (Planética, 2020).



**Figura 5: Residuos inorgánicos**

**Fuente: Permacultura.org.mx, 2020**

### 1.3.8. Sistema generador de energía eléctrica por biogás

Es un tipo de generador de electricidad que aprovecha el metano presente en residuos mayormente orgánicos. Es una energía limpia de bajo costo que reduce la huella de emisiones y ayuda a aprovechar los residuos sobrantes del sector industrial, del ámbito doméstico, agropecuario, etc. Generalmente el proceso para la transformación de biomasa en biogás sucede con la ayuda de un digestor (Pinto Ruiz, Raj Aryal, & Venegas Venegas, 2019).

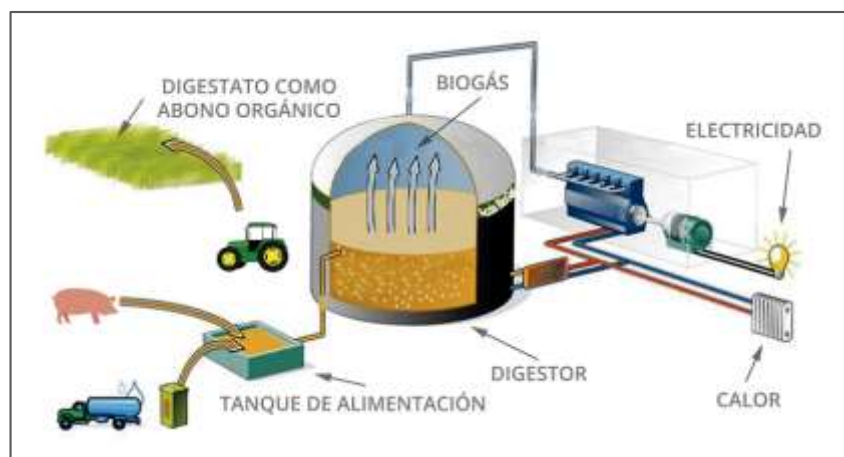


Figura 6: Energía eléctrica por biogás

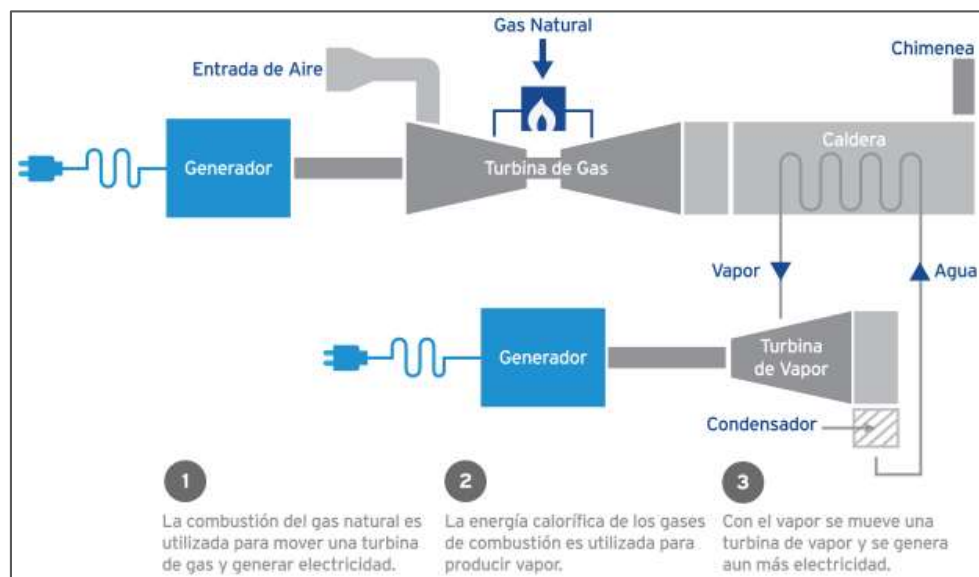
Fuente: Renovables verdes, 2019

### 1.3.9. Elementos principales de un sistema generador de energía eléctrica por biogás

Los elementos principales de un sistema generador de energía eléctrica que emplea biogás son los siguientes (Medina Quiroz & Pérez Calderón, 2019):

- Digestor: Equipo encargado de producir biogás a través del proceso llamado digestión anaeróbica que sucede con los residuos sólidos.
- Filtro de gas: Filtro que tiene la funcionalidad de retirar las impurezas presentes en el biogás. Un buen filtraje permite que el gas proveniente de residuos ingrese de manera limpia a la cámara de combustión.

- Turbina de gas: Turbomáquina térmica que trabaja con gas como fluido de trabajo. Emplea el ciclo de Brayton como principio de funcionamiento.
- Generador eléctrico: Equipo capaz de transformar la energía mecánica en energía eléctrica.
- Transformador eléctrico: Es una máquina que permite la transmisión de energía eléctrica a largas distancias ya que eleva la tensión de un circuito disminuyendo la corriente.



**Figura 7: Sistema generador de electricidad por biogás**

Fuente: termoelectricamexicali.com, 2019

### 1.3.10. Principio de funcionamiento de un generador de energía eléctrica por biogás

El metano presente en los residuos sólidos sale a brote cuando estos desperdicios pasan por el proceso de digestión anaeróbica. En la turbina, un compresor aumenta la presión del aire entrante que luego se mezcla con el combustible (biogás) y se enciende, creando un gas caliente en expansión capaz de mover los álabes de una turbina de potencia que al estar conectada con un generador, transforma la energía mecánica en energía eléctrica.



### **1.3.11. Ingeniería y matemática de un sistema generador de energía eléctrica por biogás**

La ingeniería y matemática de un sistema generador de energía eléctrica mediante el uso de biogás por residuos sólidos urbanos queda representada por ecuaciones que se extraen de los conceptos físicos de funcionamiento de cada elemento principal del sistema.

#### **1.3.11.1. Producción de biogás**

El biogás está representado en un 60% por metano (Redagrícola, 2017) y en la actualidad existen métodos que permiten calcular la cantidad de metano presente en materia orgánica de residuos sólidos urbanos. Uno de estos métodos es el modelo matemático de Landfill Gas Emission Model (LandGEM) de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), el cual presenta la siguiente ecuación para dicho cálculo:

$$Q_{CH_4} = k L_0 M_i e^{-k t_i}$$

Donde:

$Q_{CH_4}$  = Cantidad de metano anual generado ( $m^3$ /año)

$k$  = Tasa de generación de metano (1/año)

$L_0$  = Potencial de generación de metano ( $m^3$ /ton)

$M_i$  = Cantidad de materia generadora de metano (ton/año)

$t_i$  = Cantidad de años que permanece los residuos sólidos: 1 año

La tasa de generación de metano es un valor por defecto que brinda el modelo matemático (0.05) al igual que el potencial de generación de metano (170).

#### **1.3.11.2. Ciclo Brayton Ideal**

Conocido también como Ciclo Joule, es un esquema termodinámico de 4 pasos reversibles que modela el comportamiento de una turbina de gas. El

rendimiento del Ciclo Brayton Ideal se representa mediante la siguiente ecuación (Cengel & Boles, 2012):

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{(k-1)/k}}$$

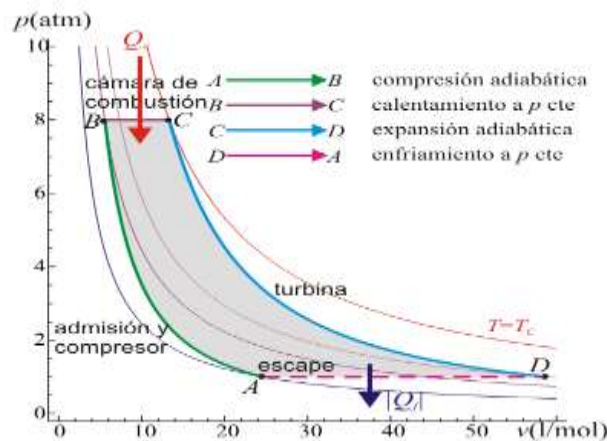
Donde:

$\eta$  = Eficiencia del ciclo

$r$  = Relación de presión:  $P_B/P_A = P_2/P_1$

$k$  = Consante de Boltzmann: 1.4 (En suposiciones de aire estándar frío)

**Diagrama 1: Diagrama P-V del Ciclo Brayton Ideal**



Las etapas que se mencionan en el Diagrama P-V una vez que ha ingresado aire frío y presión atmosférica a la turbina son las siguientes:

- Un compresor eleva la presión del aire al comprimirlo y luego lo dirige hacia la cámara de combustión, al ser una fase rápida se considera una Compresión Adiabática A-B.
- El aire dentro de la cámara es calentado a través de la combustión del queroseno. El aire se puede expandir debido a que la cámara está abierta. Esta fase se considera como un Proceso Isobárico B-C.
- El aire caliente transita por la turbina y es capaz de moverla. El aire se expande y se enfría de manera rápida consiguiendo una Expansión Adiabática C-D.

- El aire enfriado sale al exterior (posee una temperatura mayor que el aire inicial). Se supone una recirculación ya que el aire que se escapa es el mismo que ingresa en la misma presión y cantidad. El aire que se retiró cedió calor al ambiente, se enfrió y retorno a la turbina. A esta fase se le conoce como Enfriamiento a Presión Constante D-A.

En los análisis termodinámicos de algunas turbinas de gas se considera un ciclo Brayton Ideal (donde el aire recircula y solo cede calor al ambiente) y un ciclo abierto.

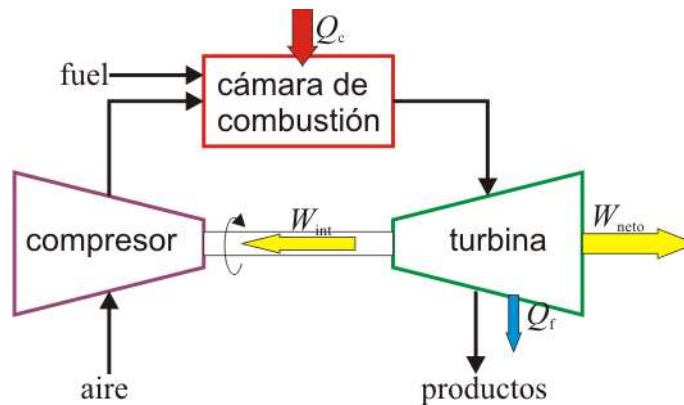


Figura 8: Ciclo abierto de una turbina de gas

Fuente: [laplace.us.es](http://laplace.us.es), 2019

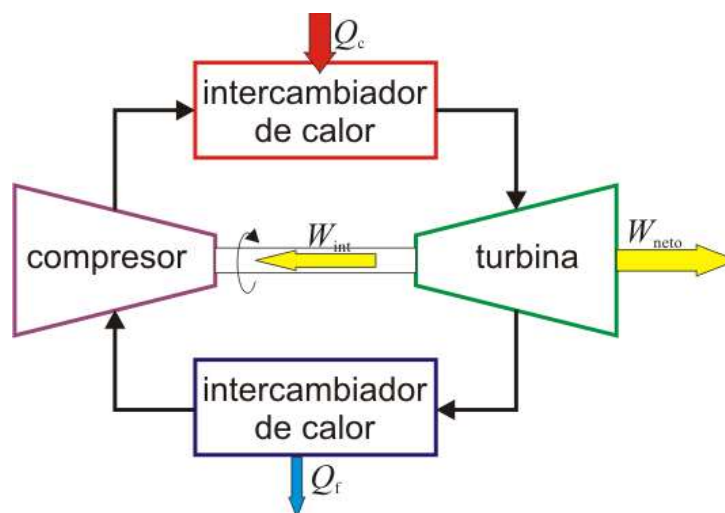


Figura 9: Ciclo cerrado de una turbina de gas

Fuente: [laplace.us.es](http://laplace.us.es), 2019

La transferencia de calor en el Ciclo Brayton Ideal se halla de la siguiente manera:

$$q_{in} = h_3 - h_2 = C_p (T_3 - T_2)$$

Donde:

$q_{in}$  = Calor de entrada (kJ/kg)

$h_3, h_2$  = Entalpías en la fase 3 y 2 correspondientemente (kJ/kg)

$C_p$  = Calor específico a presión constante (kJ/kg K°)

$T_3, T_2$  = Temperaturas en la fase 3 y 2 correspondientemente (K°)

Y el calor de salida se halla con la siguiente ecuación:

$$q_{out} = h_4 - h_1 = C_p (T_4 - T_1)$$

Donde:

$q_{out}$  = Calor de salida (kJ/kg)

$h_4, h_1$  = Entalpías en la fase 4 y 1 correspondientemente (kJ/kg)

$T_4, T_1$  = Temperaturas en la fase 4 y 1 correspondientemente (K°)

La eficiencia térmica del Ciclo Brayton ideal ( $\eta_{t\acute{e}rm,Brayton}$ ) bajo suposiciones de aire estándar frío se puede hallar de la siguiente manera:

$$\eta_{t\acute{e}rm,Brayton} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{C_p (T_4 - T_1)}{C_p (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 (T_4/T_1 - 1)}{T_2 (T_3/T_2 - 1)}$$

Las fases B-C (2-3) y D-A (4-1) son a presión constante, por lo tanto:

$$P_2 = P_3$$

$$P_4 = P_1$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{(k-1)/k} = \frac{T_3}{T_4}$$

Donde:

$P_4, P_3, P_2, P_1$  = Presiones durante cada fase (Pa)

El trabajo que realiza el compresor ( $\omega_{comp,in}$ ) se calcula con la siguiente ecuación:

$$\omega_{comp,in} = h_2 - h_1$$

El trabajo que realiza la turbina ( $\omega_{turb,out}$ ) se calcula con la siguiente ecuación:

$$\omega_{turb,out} = h_3 - h_4$$

Y el trabajo neto del ciclo ( $\omega_{neto}$ ) es la diferencia de ambos trabajos:

$$\omega_{neto} = \omega_{turb,out} - \omega_{comp,in}$$

Con este trabajo neto también se puede calcular la eficiencia térmica del ciclo:

$$\eta_{t\acute{e}rm} = \frac{\omega_{neto}}{q_{in}}$$

### 1.3.12. Definición de términos

- Residuo: Fracción que sobra de un todo.
- Biogás: Gas combustible que se origina mediante el proceso de la digestión anaeróbica de residuos sólidos de origen natural.
- Digestión anaeróbica: Proceso en donde los microorganismos descomponen material biodegradable por la ausencia del oxígeno.
- Relleno sanitario: Lugar de disposición final de la basura de una ciudad o localidad.

- Carga eléctrica: Propiedad física intrínseca de ciertas partículas que se presenta a través de fuerzas de repulsión y atracción entre ellas en un campo magnético.
- Metano: Gas más ligero que el aire, incoloro, inodoro y muy inflamable. Se genera naturalmente por la descomposición de materia orgánica.
- Impureza: Partícula o sustancia de origen extraño que cuando se mezcla con otro cuerpo, lo hace perder su pureza.
- Relación de compresión: Diferencia de volúmenes de la mezcla combustible-aire, cuando está en compresión y cuando baja hasta el punto muerto inferior del cilindro.
- Compresor: Dispositivo que sirve para generar una acción de comprimir.
- Turbina: Equipo mecánico que cuenta con álabes que son movidas por la presión o fuerza de un fluido.
- Cámara de combustión: Espacio donde se lleva a cabo la combustión del combustible con el aire (comburente).

#### **1.4. Formulación del problema**

¿Cuánta demanda podrá cubrir la potencia generará por el sistema de energía eléctrica que emplea biogás a través de residuos sólidos urbanos?

## **1.5. Justificación e importancia del estudio**

### **1.5.1. Justificación ambiental**

La presente investigación proyecta disminuir el porcentaje de contaminación ambiental que se genera por una mala gestión en el recojo de los residuos sólidos urbanos (RSU). A través de un proceso anaeróbico se aprovechará la materia orgánica presente en los RSU para producir biogás y con el uso de este combustible, generar energía eléctrica.

### **1.5.2. Justificación económica**

La ejecución del presente proyecto logrará reducir el precio de demanda de energía eléctrica, además generará un ahorro en el pago mensual por el suministro de electricidad debido a que la energía eléctrica por biogás que se generará en la misma ciudad tendrá un costo mensual menor a comparación del servicio brindado por las empresas convencionales.

### **1.5.3. Justificación social**

Este trabajo de investigación promueve técnicas que permiten aprovechar los residuos sólidos urbanos de cada avenida y calle. Conjuntamente presenta una solución para disminuir los problemas higiénicos ocasionados por la basura, mejorando así la calidad de vida y la estética de un lugar. Este proyecto puede ser imitado por instituciones públicas o privadas que deseen ampliar nuevas metodologías que los ayuden a crecer como sociedad.

### **1.5.4. Justificación técnica**

Esta investigación presenta una opción innovadora de fuente de generación de energía eléctrica para cubrir la alta demanda de este servicio en cualquier localidad. Muestra un sistema no complejo y eficiente capaz de producir energía eléctrica empleando biogás a través de la fracción orgánica

que se haya en los residuos sólidos urbanos. Es un diseño replicable ya que en este documento se detalla ordenadamente la ingeniería del proyecto.

## **1.6. Hipótesis**

El diseño del sistema generador de energía eléctrica que emplea biogás a través de residuos sólidos urbanos cubrirá un porcentaje de la alta demanda de electricidad y disminuirá la contaminación del lugar en donde se ejecute el proyecto.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo general**

Diseñar un sistema generador de energía eléctrica que emplea biogás obtenido de los residuos sólidos urbanos en la Ciudad de Chiclayo.

### **1.7.2. Objetivos específicos**

- Estimar la cantidad de biogás que se podría obtener a través de los residuos sólidos urbanos.
- Calcular la potencia que puede generarse por la cantidad estimada de biogás como producto de los residuos sólidos urbanos.
- Seleccionar los componentes y elementos del sistema generador de energía eléctrica.
- Dimensionar la cantidad de viviendas que puede cubrir el sistema generador de energía eléctrica a base de biogás generado por los residuos sólidos urbanos.
- Realizar una evaluación económica de la propuesta energética.



## **II. MATERIALES Y MÉTODO**

### **2.1. Tipo y Diseño de Investigación**

Tipo: Aplicada

Diseño: Cuasi-experimental

La investigación es de tipo Aplicada debido a que se busca la utilización de conocimiento para solucionar una problemática socio-ambiental.

### **2.2. Población y muestra**

Población: Todos los sistemas generadores de energía eléctrica.

Muestra: Sistema generador de energía eléctrica utilizando biogás a través de residuos sólidos urbanos.

### **2.3. Variables y Operacionalización**

#### **2.3.1. Variable Independiente**

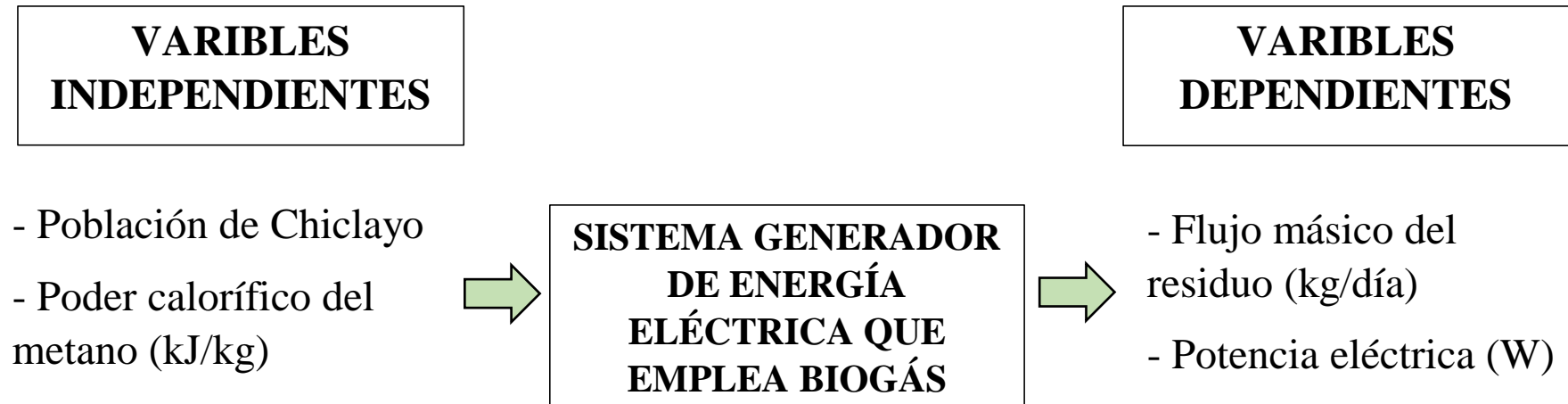
- Población de Chiclayo
- Poder calorífico del metano (kJ/kg)

#### **2.3.2. Variable Dependiente**

- Flujo másico de residuos (kg/día)
- Potencia eléctrica (W)

Para un mejor entendimiento en el **Diagrama 2** se detalla una representación de Caja Negra para variables.

Diagrama 2: Caja Negra para variables



### 2.3.3. Operacionalización de Variables

Tabla 1: Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA	TÉCNICA E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS
VARIABLE INDEPENDIENTE					
Población de Chiclayo	Es la cantidad de habitantes de la ciudad de Chiclayo.	--	--	--	Análisis documental (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018)
Poder calorífico del metano	Es la cantidad de energía que tiene el metano en cada kg de masa.	Poder calorífico	$P_c = \frac{\text{energía}}{\text{masa}}$	$kJ/kg$	Análisis documental (Cengel & Boles, 2012)
VARIABLE DEPENDIENTE					
Flujo másico del residuo	Es la cantidad de masa residual que circula en un determinado tiempo.	Flujo másico	$\dot{m} = \frac{\text{masa}}{\text{tiempo}}$	$kg/s$	Análisis documental (Cengel & Boles, 2012)
Potencia eléctrica	Es la cantidad de energía obtenida en un determinado tiempo y sirve para ejecutar un trabajo.	Potencia	$P = \frac{J}{s}$	W	Análisis documental (EcuRed, 2020)

## **2.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

### **2.4.1. Abordaje metodológico**

#### **2.4.1.1. Analítico**

La estructura de estudio se descompone uniformemente con la finalidad de obtener posibles soluciones a las diferencias problemáticas que aparezcan en el transcurso del progreso de la investigación. Debido a esto se requiere tener conocimiento sobre los riesgos que involucra hacer este tipo de análisis investigativos.

En esta investigación se hallará un dato aproximado de la cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU) presente en la ciudad de Chiclayo, esto con el objetivo de tener un valor teórico que nos permita calcular la producción de biogás que se podría obtener por medio de la descomposición anaeróbica de la fracción orgánica de dichos residuos.

#### **2.4.1.2. Deductivo**

Se investigará trabajos anteriores a este como investigaciones, artículos científicos, revistas científicas, libros, etc., que nos brinden una idea sobre la estructura de un sistema generador de energía eléctrica en base a biogás. Además, se llevará a cabo una revisión detallada de los diseños de sistemas generadores de energía eléctrica que emplean biogás a través de residuos en general.

#### **2.4.1.3. Inductivo**

La metodología de investigación empleada para el desarrollo del presente proyecto nos permitirá obtener toda la información necesaria para resolver la problemática encontrada con respecto a la alta demanda de energía eléctrica.

### 2.4.2. Técnicas e instrumentos

A continuación, se detalla una tabla donde se mencionan las técnicas e instrumentos empleados en el presente trabajo de investigación.

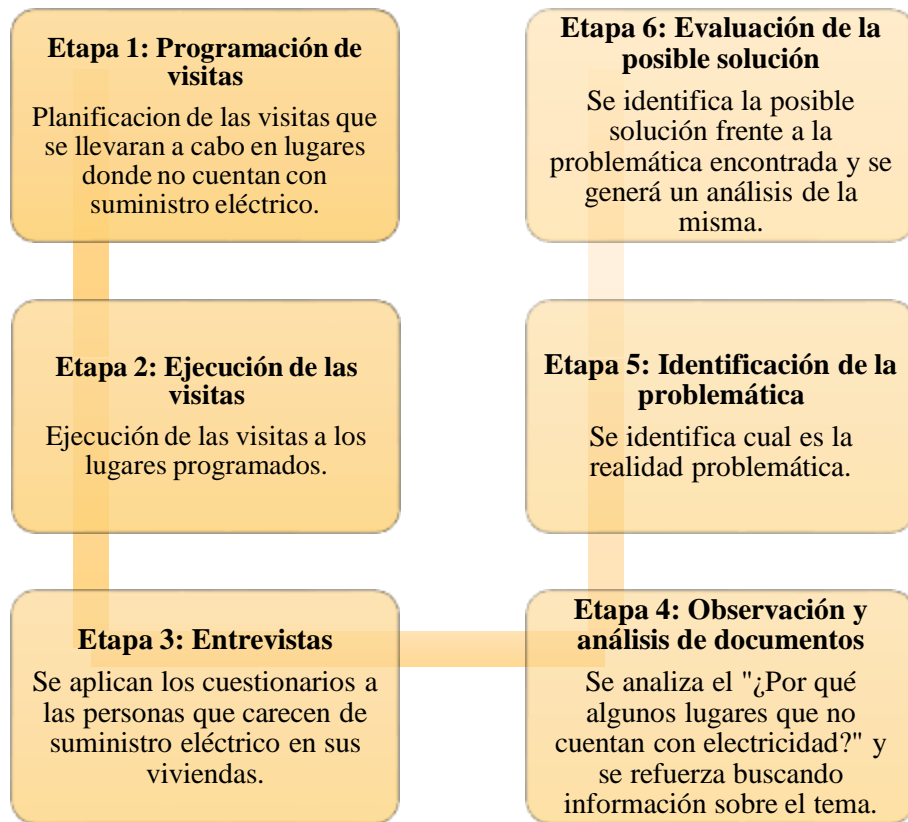
**Tabla 2: Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

<b>Técnica de recolección de datos</b>	<b>Instrumento de recolección de datos</b>
<i>Entrevista</i>	<i>Cuestionario</i>
Técnica enfocada en la conversación entre una persona que realiza preguntas y otra, que las responde. Por lo general los entrevistados son especialistas de un tema en particular.	Se genera un cuestionario constituido por 5 preguntas, las cuales serán respondidas por personas que no cuentan con suministro eléctrico (Ver <b>Anexo 1</b> ).
<i>Observación</i>	<i>Guía de observación</i>
Permite conocer, identificar y registrar datos o situaciones.	Ficha que se utilizará para registrar textualmente de manera ordenada todos los datos e información valiosa.
<i>Análisis de documentos</i>	<i>Ficha de análisis documental</i>
Sirve para identificar cualquier documento importante y extraer la información más valiosa del mismo.	Es un instrumento que contendrá toda la información obtenida de los distintos documentos revisados.

### 2.4.3. Procedimientos para la recolección de datos

Para la recolección de datos se planifico un procedimiento, el cual tendrá el siguiente esquema de realización:

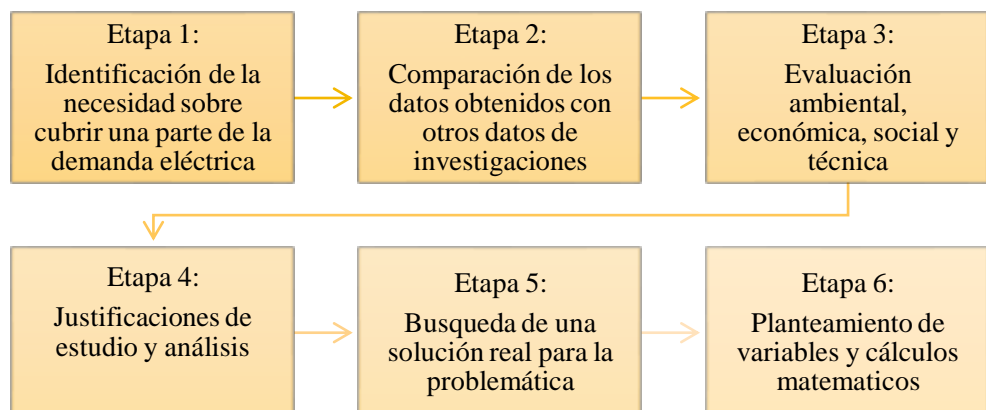
**Diagrama 3: Procedimiento para la recolección de datos**



## 2.5. Procedimiento de análisis de datos

El procedimiento para el análisis de datos tiene el siguiente orden:

**Diagrama 4: Procedimiento para el análisis de datos**



## 2.6. Criterios éticos

Para el desarrollo de la presente investigación se tendrá en cuenta criterios éticos plasmados en el Código de Ética de la Universidad Señor de Sipán y el Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú.

### **Código de Ética de la Universidad Señor de Sipán (USS)**

Este documento (ver **Anexo 2**) detalla los criterios éticos y principios a tener en cuenta al momento de usar información de otros autores, así mismo muestra las políticas antiplagio. A continuación se transcriben los dos primeros artículos de este código:

“Artículo 1. ° Finalidad: La finalidad del Código de Ética para la Investigación de la Universidad Señor de Sipán S.A.C. (en adelante Código de Ética) es garantizar que el proceso de investigación se efectúe en el marco de los principios éticos que establecen las normas vigentes.”

“Artículo 2. ° Objetivo: El Código de Ética tiene como objetivo definir los principios éticos que orientan la actividad investigativa y su gestión por las autoridades, investigadores, docentes, estudiantes y egresados de la institución.”

### **Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP)**

Este documento (ver **Anexo 3**) menciona los principios éticos que tiene que tener en cuenta un ingeniero para la competencia y el buen desarrollo de la profesión en relación con sus colegas, ambiente, sociedad y público. A continuación, se mencionan algunos artículos de este código de ética:

“Artículo 14. ° Los ingenieros están al servicio de la sociedad. Por consiguiente, tienen la obligación de contribuir al bienestar humano, dando importancia primordial a la seguridad y adecuada utilización de los recursos en el desempeño de sus tareas profesionales.

Los ingenieros deben reconocer y hacer suyos los principios que el Colegio de Ingenieros del Perú desarrollo en su Estatuto en aplicación al ejercicio profesional.”

“Artículo 18. ° El ingeniero respetará las leyes, ordenanzas y disposiciones vigentes relacionadas con su profesión y actuará dentro de los más estrictos principios de honradez y moralidad en todo su proceder.”

## **2.7. Criterios de rigor científico**

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se tomará en cuenta los criterios de aplicabilidad, confiabilidad, fiabilidad, objetividad y validez.

**Aplicabilidad:** Los resultados a obtener en esta investigación pueden ser antecedentes de otros estudios.

**Confiabilidad:** La metodología de investigación permite resolver la problemática de manera cuantitativa a través del diseño óptimo de una máquina confiable.

**Fiabilidad:** La entrevista generada posee una cualidad de fiable que permite obtener resultados reales y creíbles.

**Objetividad:** La problemática de esta investigación demuestra la realidad tal cual.

**Validez:** Las variables de investigación presentan un estudio viable que logra definir los parámetros de diseño.



### III. RESULTADOS

#### 3.1. Resultados en tablas y figuras

##### 3.1.1. Cantidad de biogás estimada por los residuos sólidos urbanos

Para estimar la cantidad de biogás que producirán los residuos sólidos urbanos es necesario saber el número de habitantes actual de la ciudad de Chiclayo, con este dato se hará una proyección de 20 años tanto de población como de metano (biogás).

##### 3.1.1.1. Población actual

La población actual de los distritos de la provincia de Chiclayo según el portal del Instituto Nacional de Estadística e Informática, son los siguientes (INEI, 2020):

*Tabla 3: Población actual de la provincia de Chiclayo*

<b>DISTRITO</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
Chiclayo	282 680	285 907	288 360
Chongoyape	19 201	19 441	19 629
Etén	12 643	12 896	13 118
Etén Puerto	2 396	2 422	2 439
José Leonardo Ortíz	164 130	164 974	165 355
La Victoria	95 035	97 223	99 183
Lagunas	10 536	10 696	10 829
Monsefú	34 301	34 856	35 323
Nueva Arica	2 509	2 526	2 538
Oyotún	8 558	8 470	8 359
Picsi	13 517	14 127	14 726
Pimentel	48 444	50 505	52 505
Reque	16 780	17 304	17 794
Santa Rosa	13 296	13 592	13 856
Saña	12 368	12 450	12 497
Cayalti	15 484	15 446	15 365
Pátapo	24 212	24 648	25 022
Pomalca	26 243	26 664	25 022
Pucalá	9 023	9 035	9 022
Tumán	29 384	29 619	29 773

La ciudad de Chiclayo en los años 2018 y 2019 tuvo una población de 282 680 y 285 907 correspondientemente. Y en la actualidad cuenta con 288 360 habitantes.

### 3.1.1.2. Estimación poblacional

La estimación poblacional se hará tomando en cuenta una proyección de 20 años. Estadísticamente el crecimiento de la población de una ciudad se puede hallar con la siguiente ecuación:

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

Donde:

$P_f$  = Población final proyectada en “n” años

$P_i$  = Población inicial: 288 360 habitantes en el 2020

$r$  = Tasa de crecimiento anual (%)

$n$  = Número de años (depende de la población a proyectar y parte desde la población inicial)

La Tasa de crecimiento anual se puede hallar de la siguiente manera:

$$r = 100 \times \left( \sqrt[n]{\frac{P_f}{P_i}} - 1 \right)$$

Donde:

$P_f$  = Población final: 288 360 habitantes en el 2020

$P_i$  = Población inicial: 282 680 habitantes en el 2018

$n$  = Número de años (2 años)

$$r = 100 \times \left( \sqrt[2]{\frac{288\ 360}{282\ 680}} - 1 \right) = 1\%$$

Entonces la proyección en 20 años de la ciudad de Chiclayo es:

**Tabla 4:** *Estimación de la población de la ciudad de Chiclayo al 2040*

<b>Año</b>	<b>Población</b>
2020	288 360
2021	291 243
2022	294 154
2023	297 095
2024	300 065
2025	303 064
2026	306 094
2027	309 154
2028	312 244
2029	315 366
2030	318 519
2031	321 703
2032	324 919
2033	328 167
2034	331 447
2035	334 761
2036	338 107
2037	341 487
2038	344 901
2039	348 349
2040	351 831

### 3.1.1.3. Cantidad de residuos sólidos urbanos estimados

En el apartado “1.1.3. Problemática local” se menciona que un habitante de la ciudad de Chiclayo genera 0.45 kg de residuos sólidos urbanos por día. El ratio de 0.45 kg/habitante/día corresponde al año 2020, para la proyección de los ratios de los próximos 20 años se emplea la siguiente ecuación:

$$R_F = R_A \times (1 + r)^n$$

Donde:

$R_F$  = Ratio futuro (kg/hab/día)

$R_A$  = Ratio actual: 0.45 kg/hab/día en el año 2020

$r$  = Tasa de crecimiento: 1%

$n$  = Número de años

**Tabla 5: Ratio de kg/hab/día de RSU de la ciudad de Chiclayo**

<b>Año</b>	<b>Ratio (kg/hab/día)</b>
2020	0.45
2021	0.454
2022	0.459
2023	0.464
2024	0.468
2025	0.473
2026	0.478
2027	0.482
2028	0.487
2029	0.492
2030	0.497
2031	0.502
2032	0.507
2033	0.512
2034	0.517
2035	0.522
2036	0.528
2037	0.538
2038	0.538
2039	0.544
2040	0.549

Con los ratios obtenidos para cada año, se proyecta la cantidad de residuos sólidos urbanos generados por la población en el transcurso de los próximos 20 años.

**Tabla 6: Residuos sólidos urbanos de la ciudad de Chiclayo proyectados en 20 años**

<b>Año</b>	<b>kg de RSU/día</b>	<b>kg de RSU/mes</b>	<b>kg de RSU/año</b>	<b>Ton de RSU/año</b>
2020	129 762	3 892 860	46 714 320	46 714
2021	132 369	3 971 081	47 652 969	47 653
2022	135 029	4 050 873	48 610 479	48 610
2023	137 742	4 132 269	49 587 228	49 587
2024	140 510	4 215 300	50 583 604	50 584
2025	143 333	4 300 000	51 600 000	51 600
2026	146 213	4 386 402	52 636 819	52 637
2027	149 151	4 474 539	53 694 471	53 694
2028	152 148	4 564 448	54 773 375	54 773
2029	155 205	4 656 163	55 873 958	55 874
2030	158 324	4 749 721	56 996 656	56 997
2031	161 505	4 845 159	58 141 912	58 142
2032	164 750	4 942 515	59 310 180	59 310
2033	168 061	5 041 827	60 501 923	60 502
2034	171 438	5 143 134	61 717 611	61 718

2035	174 883	5 246 477	62 957 728	62 958
2036	178 397	5 351 897	64 222 762	64 223
2037	181 981	5 459 435	65 513 215	65 513
2038	185 638	5 569 133	66 829 598	66 830
2039	189 368	5 681 036	68 172 431	68 172
2040	193 173	5 795 187	69 542 246	69 542

#### 3.1.1.4. Cantidad de biogás estimada

No todos los residuos sólidos urbanos generan metano, generalmente son los de origen vegetal o animal, es decir, residuos orgánicos. El Ministerio del Ambiente indica que el 50% de residuos sólidos urbanos son orgánicos (Ministerio del Ambiente, 2018). Entonces:

**Tabla 7: Materia orgánica proyectada de los RSU**

<b>Año</b>	<b>Materia orgánica (ton/año)</b>
2020	23 357
2021	23 826
2022	24 305
2023	24 794
2024	25 292
2025	25 800
2026	26 318
2027	26 847
2028	27 387
2029	27 937
2030	28 498
2031	29 071
2032	30 251
2033	30 859
2034	30 859
2035	31 479
2036	32 111
2037	32 757
2038	33 415
2039	34 086
2040	34 711

Para calcular la cantidad de metano (CH<sub>4</sub>) presente en la materia orgánica de los residuos sólidos urbanos se emplea el modelo matemático de Landfill Gas

Emission Model (LandGEM) de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA).

$$Q_{CH_4} = k L_0 M_i e^{-k t_i}$$

Donde:

$Q_{CH_4}$  = Cantidad de metano anual generado ( $m^3/año$ )

$k$  = Tasa de generación de metano (1/año)

$L_0$  = Potencial de generación de metano ( $m^3/ton$ )

$M_i$  = Cantidad de materia generadora de metano (ton/año)

$t_i$  = Cantidad de años que permanece los residuos sólidos: 1 año

La tasa de generación de metano es un valor por defecto que brinda el modelo matemático (0.05) al igual que el potencial de generación de metano (170).

**Tabla 8: Cantidad de metano presente en la materia orgánica de los RSU**

Año	Metano (m3/año)
2020	188 853.15
2021	192 647.85
2022	196 518.80
2023	200 467.53
2024	204 495.60
2025	208 604.61
2026	212 796.19
2027	217 071.98
2028	221 433.70
2029	225 883.05
2030	230 421.81
2031	235 051.76
2032	239 774.75
2033	244 592.64
2034	249 507.33
2035	254 520.78
2036	259 634.97
2037	264 851.92
2038	270 173.69
2039	275 602.40
2040	281 140.18

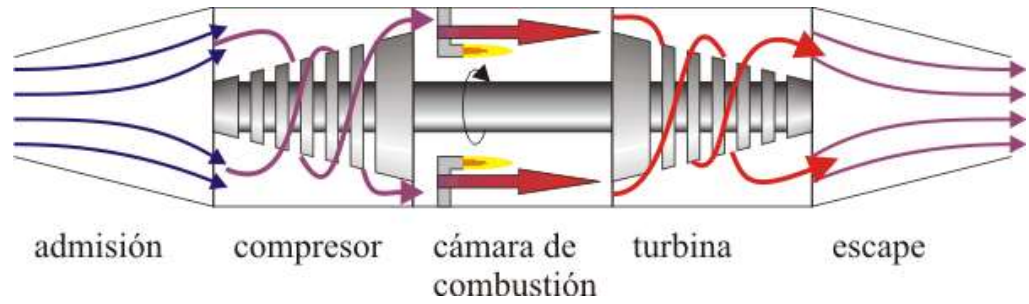
Como se menciona en el apartado “1.3.5. Composición química del biogás”, el metano representa el 60% del biogás, entonces el 100% del biogás que se generará año tras años será:

**Tabla 9: Cantidad de biogás estimada**

Año	Biogás (m <sup>3</sup> /año)	Biogás (m <sup>3</sup> /hora)
2020	314 755.25	36.43
2021	321 089.75	37.16
2022	327 531.34	37.91
2023	334 112.55	38.67
2024	340 826.00	39.45
2025	347 674.36	40.24
2026	354 660.31	41.05
2027	361 786.64	41.87
2028	369 056.16	42.71
2029	376 471.75	43.57
2030	384 036.35	44.45
2031	391 752.94	45.34
2032	399 624.58	46.25
2033	407 654.40	47.18
2034	415 845.56	48.13
2035	424 201.30	49.10
2036	432 724.95	50.08
2037	441 419.86	51.09
2038	450 289.48	52.12
2039	459 337.33	53.16
2040	468 566.97	54.23

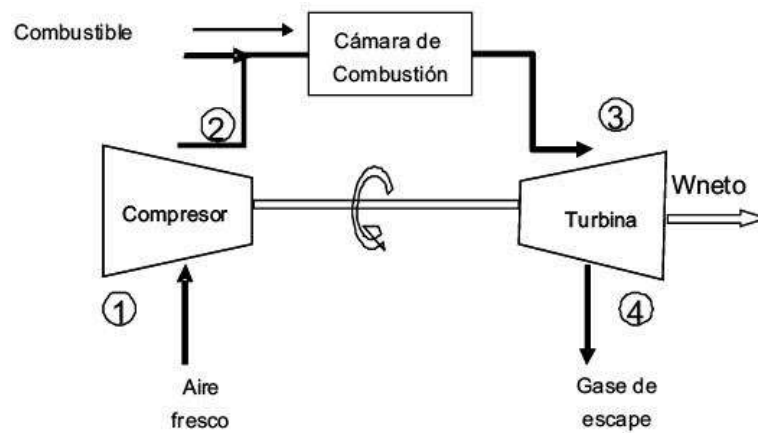
### 3.1.2. Potencia generada por la cantidad de biogás estimada

Para hallar la potencia que puede generar la cantidad de biogás estimada, se utilizará el Ciclo Brayton abierto en suposiciones de aire estándar frío. Este ciclo termodinámico describirá el funcionamiento ideal de una turbina que se alimenta a base de gas.



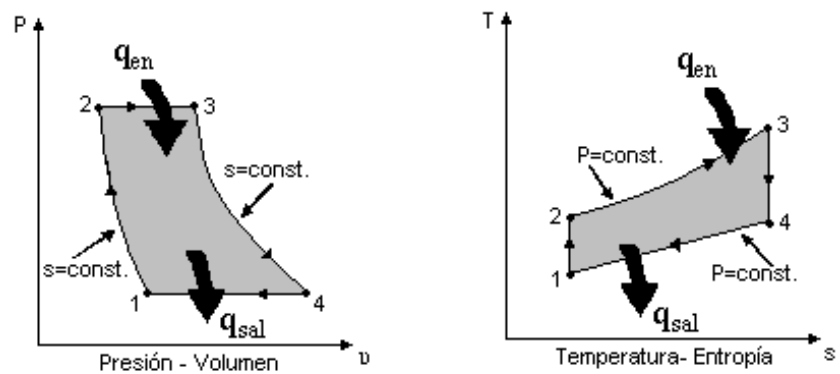
**Figura 10: Turbina de gas**  
**Fuente: Laplace.us.es, 2019**

Tomando en cuenta la siguiente imagen y diagramas, se detallan los datos para resolver las ecuaciones termodinámicas del Ciclo Brayton.



**Figura 11: Turbina de gas**  
**Fuente: Laplace.us.es, 2017**

**Diagrama 5: Diagramas P-V y T-S del Ciclo Brayton Ideal**





$P_1$  = Presión que ingresa al compresor: 101 325 Pa

$T_1$  = Temperatura al ingreso: 26 °C = 299.15 K

$r$  = Relación de presión: 8

La relación de presión de un Ciclo Brayton tiene un valor típico de 8 (Laplace, 2020).

Con estos datos se empieza hallar los demás parámetros haciendo uso de tablas termodinámicas (Cengel & Boles, 2012), interpolaciones y ecuaciones.

Para una temperatura de 299.15 K, la entalpía y la presión reducida son:

$$h_1 = 299.34 \text{ kJ/kg}$$

$$Pr_1 = 1.3725$$

La relación de compresión se halla de la siguiente manera:

$$r = \frac{P_2}{P_1}$$

Entonces:

$$P_2 = 8 \times 101\,325 = 810\,600 \text{ Pa}$$

Como se sabe:

$$r = \frac{P_2}{P_1} = \frac{Pr_2}{Pr_1}$$

Entonces:

$$Pr_2 = 8 \times 1.3725 = 10.98$$

Con la  $Pr_2$  se obtiene la  $T_2$  y la  $h_2$  interpolando los datos de la Tabla A-17 del libro de (Cengel & Boles, 2012).

$$T_2 = 538.36 \text{ K}$$

$$h_2 = 542.65 \text{ kJ/kg}$$

Con las entalpías de la fase 1 y 2 se puede hallar el trabajo del compresor empleando la siguiente ecuación:

$$W_{comp,in} = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

Donde:

$W_{comp,in}$  = Potencia del compresor (kW)

$\dot{m}$  = Flujo másico del aire (kg/s)

El flujo másico del aire se halla de la siguiente manera:

$$\dot{m} = \dot{v} \times \rho_{aire}$$

Donde:

$\dot{v}$  = Flujo volumétrico del aire ( $m^3/s$ )

$\rho_{aire}$  = Densidad del aire:  $1.1839 \text{ kg/m}^3$

El flujo volumétrico del aire se calcula con la velocidad del viento y el área de ingreso del compresor.

$$\dot{v} = v_{viento} \times a_{in}$$

Donde:

$v_{viento}$  = Velocidad del viento:  $21 \text{ km/h} = 5.83 \text{ m/s}$  (Senamhi, 2020)

$a_{in}$  = Área de admisión de aire con radio de  $0.35 \text{ m}$  (suposición de diseño)

Entonces:

$$\dot{v} = 5.83 \times (\pi \times 0.35^2) = 2.24 \text{ m}^3/s$$

$$\dot{m} = 2.24 \times 1.1839 = 2.65 \text{ kg/s}$$

$$W_{comp,in} = 2.65 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times \left( 542.65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 299.34 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 644.77 \text{ kW}$$

En la cámara de combustión se genera el calor que finalmente mueve la turbina, en este equipo térmico ingresa aire y metano.

$$Q_{in} = (\dot{m} + \dot{m}_{CH_4}) \times (h_3 - h_2)$$

Donde:

$Q_{in}$  = Calor de entrada (kW)

$\dot{m}$  = Flujo másico del aire: 2.65 kg/s

$\dot{m}_{CH_4}$  = Flujo másico del metano (kg/s)

$h_3$  = Entalpia en la fase 3 (kJ/kg)

$h_2$  = Entalpia en la fase 2: 542.65 kJ/kg

El flujo másico del metano se halla de la siguiente manera:

$$\dot{m}_{CH_4} = \dot{v}_{CH_4} \times \rho_{metano}$$

Donde:

$\dot{v}_{CH_4}$  = Flujo volumétrico del metano: 0.015  $m^3/s$  en el 2040 (ver Tabla 9)

$\rho_{metano}$  = Densidad del metano: 0.657  $kg/m^3$

Entonces:

$$\dot{m}_{CH_4} = 0.015 \times 0.657 = 0.01 \text{ kg/s}$$

La entalpía en la fase 3 está relacionada a la  $T_3$ . Un buen sistema generador de energía eléctrica funciona con una temperatura alrededor de 1400°C en la entrada de la turbina (Cengel & Boles, 2012).

Entonces:

$$T_3 = 1400 \text{ }^\circ\text{C} = 1673.15 \text{ K}$$

Interpolando tenemos una entalpía en la fase 3 de:

$$h_3 = 1847.10 \text{ kJ/kg}$$

Entonces:

$$Q_{in} = (2.65 + 0.01) \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times (1847.10 - 542.65) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 3969.84 \text{ kW}$$

El trabajo que genera la turbina se puede hallar con la siguiente ecuación:

$$\omega_{turb,out} = h_3 - h_4$$

Donde:

$\omega_{turb,out}$  = Trabajo de la turbina (kJ/kg)

$h_3$  = Entalpía en la fase 3: 1847.10 kJ/kg

$h_4$  = Entalpía en la fase 4 (kJ/kg)

Para hallar la entalpía en la fase 4 es necesario conocer la temperatura en esa misma etapa. Para hallar la temperatura en la fase 4 tenemos que considerar lo siguiente:

$$P_2 = P_3$$

$$P_4 = P_1$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{(k-1)/k} = \frac{T_3}{T_4}$$

Donde:

$P_1$  = Presión atmosférica al ingreso del compresor: 101 325 Pa

$P_2$  = Presión en la fase 2: 810 600 Pa

$T_3$  = Temperatura en la fase 3: 1673.15 K

$k$  = Consante de Boltzmann: 1.4 (En suposiciones de aire estándar frío)

Entonces:

$$P_1 = 101\,325 \text{ Pa} = P_4$$

$$P_2 = 810\,600 \text{ Pa} = P_3$$

$$T_4 = \frac{T_3}{\left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}}} = \frac{1673.15 \text{ K}}{\left(\frac{810\,600 \text{ Pa}}{101\,325 \text{ Pa}}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}}} = 923.65 \text{ K}$$

Haciendo la interpolación respectiva, la entalpia en la fase 4 es:

$$h_4 = 959.49 \text{ kJ/kg}$$

Entonces:

$$\omega_{turb,out} = 1847.10 - 959.49 = 887.61 \text{ kJ/kg}$$

Para hallar la potencia de la turbina en kW se tomará en cuenta los flujos másicos del metano y el aire.

$$W_{turb,out} = (2.65 + 0.01) \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times (887.61) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 2\,361.04 \text{ kW}$$

El calor de salida se halla con la siguiente ecuación:

$$Q_{out} = (\dot{m} + \dot{m}_{CH_4}) \times (h_4 - h_1)$$

Donde:

$Q_{out}$  = Calor de salida (kW)

$\dot{m}$  = Flujo másico del aire: 2.65 kg/s

$\dot{m}_{CH_4}$  = Flujo másico del metano: 0.01 kg/s

$h_4$  = Entalpia en la fase 4: 959.49 kJ/kg

$h_1$  = Entalpia en la fase 1: 299.34 kJ/kg

Entonces:

$$Q_{out} = (2.65 + 0.01) \frac{kg}{s} \times (959.49 - 299.34) \frac{kJ}{kg} = 1756 \text{ kW}$$

El trabajo neto del ciclo se halla con la siguiente ecuación:

$$W_{neto} = W_{turb,out} - W_{comp,in}$$

Donde:

$W_{turb,out}$  = Trabajo de la turbina: 2361.04 kW

$W_{comp,in}$  = Trabajo del compresor: 644.77 kW

Entonces:

$$W_{neto} = 2361.04 - 644.77 = 1716.27 \text{ kW}$$

Con el trabajo neto hallado se calcula la eficiencia térmica del ciclo:

$$\eta_{term} = \frac{1716.27 \text{ kW}}{3969.84 \text{ kW}} = 0.43 = 43\%$$

El resultado nos muestra que se podrá generar una potencia de 1.72 MW.

### **3.1.3. Componentes y elementos del sistema generador de energía eléctrica**

#### **3.1.3.1. Almacenamiento de materia orgánica**

Puede ser un contenedor o espacio cerrado herméticamente con una capacidad de almacenamiento de 100 000 kg de materia orgánica (50% de los RSU en el 2040, ver Tabla 6).

### 3.1.3.2. Filtro de biogás

El filtro de biogás se selecciona dependiendo de la capacidad de biogás generada, la cual es de  $54.23 \text{ m}^3/\text{h}$  (ver Tabla 9). Para este requerimiento se eligió un Filtro de biogás de la marca DESOTEC modelo AIRCON HC.

En el **Anexo 4** se muestra los datos técnicas del filtro de biogás DESOTEC AIRCON HC.



**Figura 12: Filtro de biogás Desotec Aircon HD**

**Fuente: Laplace.us.es, 2019**

### 3.1.3.3. Turbina de gas

Según los cálculos la potencia de salida es de 1.72 MW. En base a este dato se selecciona la turbina KG2 W/POWER OXIDIZER que posee una potencia de salida de 1.85 MW. Es una turbina conectada a un generador capaz de producir electricidad de manera eficiente con emisiones cercanas a cero. Se le puede suministrar biogás, gas de carbón, gas de petróleo, combustibles de desecho, etc. En el **Anexo 5** se muestra la ficha técnica de la turbina en mención y en el **Anexo 6** sus características.



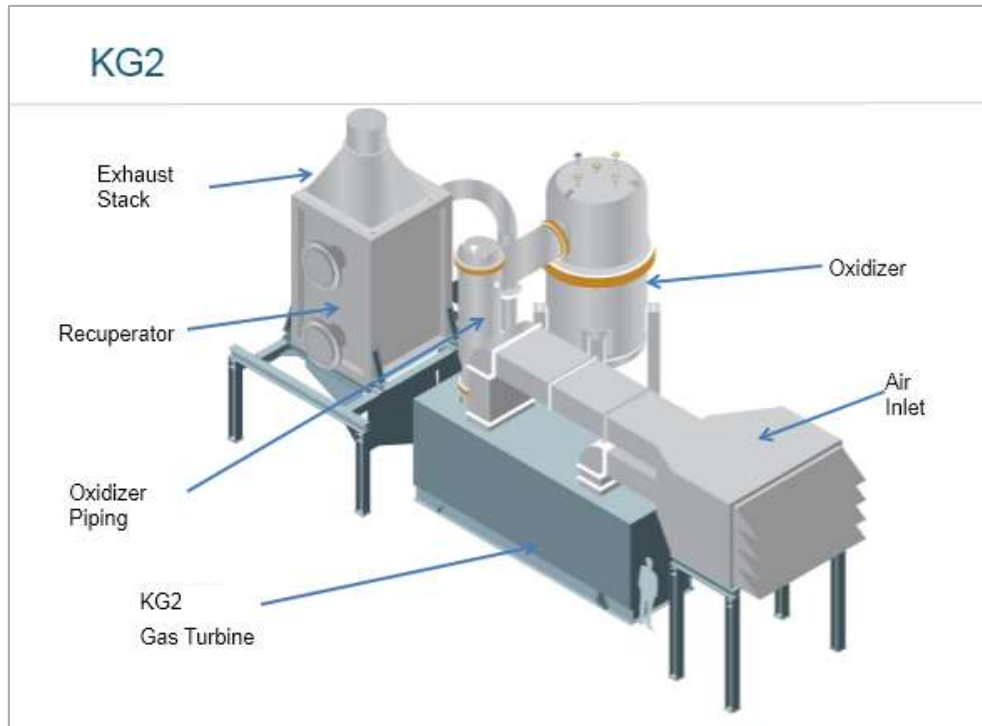
**Figura 13: Turbina de gas KG2**

**Fuente: wteinternational, 2019**

### 3.1.3.4. Generador

El generador es el equipo que estará acoplado a la turbina y es el encargado de producir la electricidad. Es un generador síncrono que funciona con frecuencias de 50-60 Hz, posee una salida eléctrica nominal de 1.85 MW y con una tensión de 400 V – 11 kV (ver **Anexo 6**).





**Figura 14: Sistema de generación eléctrica por gas**

**Fuente: Siemens-energy, 2018**

### 3.1.3.5. Transformador eléctrico

Máquina estacionaria que se selecciona considerando la potencia del generador en MVA, la tensión de salida del generador y la frecuencia. La potencia a la salida es de 1.85 MW, aplicando un factor de potencia estandarizado de 0.8, la potencia aparente equivale a 2.3 MVA, mientras que la frecuencia nominal es de 60 Hz y el voltaje de 11 kV. En base a estos parámetros se seleccionó el siguiente transformador de potencia:

**Tabla 10: Parámetros del transformador de potencia**

<b>Transformador de potencia 3.2 MVA 10/11/0.4 kV</b>	
Voltaje	10/11/0.4 kV
Potencia nominal	3.2 MVA
Devanados	2
Fases	3
Frecuencia nominal	60 Hz



**Figura 15: Transformador de potencia 10/11/0.4 kV – 3.2 MVA**  
**Fuente: Zhejiang Farady Electric Co., Ltd., 2018**

#### **3.1.4. Cantidad de viviendas que puede cubrir la potencia eléctrica generada**

El departamento de Lambayeque tiene una potencia instalada en la actualidad de 35 MW (Ministerio de Energía y Minas, 2019) y una población de 1 197 000 habitantes (INEI, 2020), la ciudad de Chiclayo representa el 24% de la población total del departamento de Lambayeque, es decir 288 360 habitantes (ver Tabla 3). Matemáticamente la ciudad de Chiclayo obtiene un 7.2 MW de la potencia instalada del departamento, este valor es un dato no real pero para la presente investigación se tomara en cuenta ya que no existe información que indique cuanta es la potencia instalada exacta de la ciudad de Chiclayo.

Entonces, Chiclayo es una ciudad que posee una potencia instalada de 7.2 MW, tomando en cuenta que en la actualidad hay una población de 288 360 habitantes (ver Tabla 3) y en promedio 5 personas forman una familia y por ende una vivienda, se tiene un total de 57 672 viviendas.

Las 57 672 viviendas consumen los 7.2 MW, haciendo una relación se halla que los 1.72 MW generados a base de residuos sólidos urbanos pueden cubrir la potencia instalada de 13 777 viviendas, un total de 68 886 personas puede ser beneficiadas.

### **3.1.5. Evaluación económica del proyecto**

Debido a que no se cuenta con los precios de los componentes que forman parte del sistema generador de energía eléctrica, se tomará como referencia las inversiones hechas en centrales termoeléctricas existentes en el Perú (ver **Anexo 7**).

De la misma manera se procederá para obtener el precio de la energía ofertada en kW-h y los posibles ingresos económicos (ver **Anexo 7**).

En la siguiente tabla se resumen los datos de importancia de algunas centrales termoeléctricas existentes en el Perú.

**Tabla 11: Datos operacionales de centrales termoeléctricas existentes en el Perú**

<b>Central Termoeléctrica</b>	<b>Inversión (\$)</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Potencia generada (MW)</b>	<b>Energía eléctrica anual ofertada (MW-h)</b>	<b>Energía eléctrica anual ofertada (kW-h)</b>	<b>Precio de energía ofertado (\$/kW-h)</b>	<b>Ingresos anuales de generación (\$)</b>
Malacas	106 400 000,00	Turbina	200	--	--	0.01085	--
Chilca 1	374 000 000,00	3 turbinas a gas/1 turbina de vapor	862.2	--	--	--	--
Eten	145 000 000,00	Turbinas/Motor de Combustión Interna	184	--	--	0.01059	--
Recka	102 530 000,00	Turbinas	181.3	--	--	--	--
Iquitos Nueva	94 400 000,00	Termoeléctrica Dual	70	--	--	--	--
Tablazo	22 500 000,00	Turbina	30	--	--	--	--
Huaycoloro	10 500 000,00	Motor de Combustión Interna	4	28 295	28 295 000	0.11	3 112 450
La Gringa V	5 100 000,00	Motogenerador	3.2	14 016	14 016 000	0.09999	1 401 559,84

### 3.1.5.1. Inversión e ingresos anuales

Por la semejanza en la tecnología empleada (1 turbina) para la generación de energía eléctrica y la cantidad de potencia generada (valor bajo a comparación de las otras centrales) se toma como referencia el costo de inversión de la central termoeléctrica “Tablazo”. Entonces, haciendo una relación matemática la inversión para nuestra central termoeléctrica de 1.72 MW sería de \$ 1 290 000,00.

Con respecto a los ingresos anuales se tomará como referencia el precio de energía ofertado por la Central de Biomasa “La Gringa V”, ya que al igual que nuestra central emplea materia orgánica para la generación de energía eléctrica, por ende se considera que los gastos de operaciones serán similares, además, su potencia instalada es baja, de 3.2 MW, valor cercano a nuestra potencia generada (1.72 MW). **El precio ofertado es de 0.09999 \$/kW-h.**

Así mismo tomando en cuenta la energía generada por la Central de Biomasa “La Gringa V” de 3.2 MW y su oferta de energía anual equivalente a 14 016 MW-h, se procede a realizar una relación de nuestra potencia obtenida (1.72 MW) y la posible energía anual que podemos ofrecer, obteniendo así un valor de 7 533.6 MW-h (7 533 600 kW-h). Entonces los ingresos anuales por venta de energía eléctrica serán de \$ 753 284.66,00.

En la siguiente tabla se resumen los valores mencionados:

**Tabla 12: Datos operacionales del sistema generador de 1.72 MW por biomasa**

<b>Sistema generador de 1.72 MW por RSU - Chiclayo</b>	
Inversión (\$)	1 290 000,00
Potencia generada (MW)	1.72
Energía eléctrica anual ofrecida (kW-h)	7 533 600
Precio (\$/kW-h)	0.09999
Ingresos anuales (\$)	753 284,00

### 3.1.5.2. VAN y TIR

Para verificar la rentabilidad del proyecto y los años de retorno de la inversión se procede a calcular el VAN y TIR.

**Tabla 13: Datos operacionales del sistema generador de 1.72 MW por biomasa**

	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Inversión Inicial	-1290000					
Gastos en personal		-60000	-60000	-60000	-60000	-60000
Gastos en la logística de RSU		-30000	-30000	-30000	-30000	-30000
Gastos en operación, mantenimiento u otros		-150000	-150000	-150000	-150000	-150000
<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>-1290000</b>	<b>-240000</b>	<b>-240000</b>	<b>-240000</b>	<b>-240000</b>	<b>-240000</b>
Ingresos anuales por generación		753284	753284	753284	753284	753284
<b>TOTAL DE INGRESOS</b>		<b>753284</b>	<b>753284</b>	<b>753284</b>	<b>753284</b>	<b>753284</b>
<b>BENEFICIOS NETOS</b>	<b>-1290000</b>	<b>513284</b>	<b>513284</b>	<b>513284</b>	<b>513284</b>	<b>513284</b>

El VAN brinda un valor positivo de 560 273.95 mientras que el TIR arroja un 28% e indica que la inversión puede recuperarse al 4to año de operaciones.

### 3.2. Discusión de resultados

- Algunas investigaciones suelen tomar el total de residuos sólidos urbanos para la producción de biogás, en esta investigación se acertó por considerar lo mencionado por el Ministerio del Ambiente. El 50% de los RSU es materia orgánica, biomasa capaz de generar metano una vez descompuesta, entonces de los 69542 de ton de RSU al año sólo se trabajó con 34771 ton, generando así 281 140.18 m<sup>3</sup> de metano al año.
- La temperatura del aire al ingreso del proceso es de 26°C (temperatura ambiente), equivalente a 299.15 K que arroja una entalpía de 299.35 kJ/kg, si la temperatura al ingreso se hubiera considerado 30°C, la entalpía hubiera aumentado, y si se hubiera considerado menor, la entalpía hubiera disminuido. La entalpía es proporcional a la temperatura y en este caso se consideró una temperatura promedio brindada por el SENAMHI.
- En un principio se consideró emplear un biodigestor de tecnología moderna que cuenta con sensores de humedad, temperatura, etc., pero debido a la alta capacidad de biogás (54.23 m<sup>3</sup>/h) que genera la materia orgánica de los residuos sólidos urbanos, se optó por un lugar cerrado herméticamente que funcione solo como almacenamiento ya que el sistema al contar con un filtro de biogás se podrá tener un control de los parámetros del metano y otras gases originados por la fermentación anaeróbica.
- La inversión del proyecto se referencio de inversiones existentes para la ejecución de centrales de energía parecidas a este sistema. Aunque en un principio se consideró tomar valores de precios de los equipos y sistemas, al final no se dio así ya que los precios en su mayoría de casos no consideran los gastos logísticos. Con respecto a los gastos operacionales se tomó un egreso anual de S/. 240,00.00, dicho valor puede disminuir o bajar dependiendo de fallas de operaciones críticas, aumento de personal, etc.

## I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 1.1. Conclusiones

- A pesar de que algunas investigaciones consideraban una estimación poblacional en un periodo menor a 20 años, incluso de hasta 5 años, para esta investigación se tomó en cuenta el lapso de 20 años. Esto permitirá cubrir la demanda futura y evitar cambios bruscos en el sistema, además de que dicha proyección va de la mano con la generación de residuos sólidos por persona en un día (0.549 kg) y la cantidad de biogás obtenida (54.23 m<sup>3</sup>/h).
- El ciclo Brayton abierto encaja perfectamente como base de funcionamiento para una turbina que se alimente a base de gas. La teoría y ecuaciones que muestra este ciclo termodinámico nos permitió hallar valores como el trabajo que genera el compresor (644.77 kW), el trabajo de la turbina (2 361.04 kW) y la eficiencia térmica del ciclo (43%) y, asumir magnitudes como la temperatura de entrada de la turbina (1 400°C).
- La buena proyección de 20 años que arrojó una cantidad de biogás de 54.23 m<sup>3</sup>/h nos permitió seleccionar un filtro de biogás existente en el mercado, y el trabajo neto calculado respetando los ciclos termodinámicos (1.72 MW) nos hizo seleccionar un sistema existente compuesto por una turbina de gas y generador.
- Para identificar el total de viviendas que cubrirá la potencia de 1.72 MW generada por nuestro sistema se aplicó relaciones matemáticas que obviamente no arrojan un resultado exacto, pero nos permiten encontrar un valor aproximado. Manejando una cantidad de 5 personas por familia la central es capaz de cubrir la demanda eléctrica de 13 777 viviendas. En caso la cantidad de integrantes que conforman una familia disminuyera, el total de viviendas a suministrar electricidad, aumentaría.
- El análisis económico dio resultados positivos, ya que al ser un sistema de generación de electricidad por lo general el periodo de



retorno es muy malo, sin embargo, obtuvimos un TIR del 28% y una inversión capaz de recuperarse al 4to año de operaciones.

## 1.2. Recomendaciones

- La temperatura tomada al ingreso del proceso fue de 26°C, equivalente a 299.15 K, es necesario hacer hincapié en este dato ya varía dependiendo de la zona donde esté ubicado el sistema generador de energía eléctrica, en el Perú existen zonas de muy bajas temperatura, valores cercanos a 0°C, mientras más baja sea la temperatura, la entalpía y presión reducida serán menores y eso modificará todo el análisis térmico del ciclo Brayton.
- La selección de equipos y máquinas dependen de los parámetros hallados del sistema, aunque es imposible encontrar máquinas con datos de fábrica que coincidan con los datos calculados, es importante elegir equipos con un valor mayor al hallado, pero no excesivamente. Esto permitirá cumplir con el requerimiento de diseño, un ejemplo de esto es la turbina de gas que tiene una potencia de 1.85 MW, mientras que el valor hallado mediante el cálculo térmico fue de 1.72 MW.
- Se recomienda que la turbina y el generador sea seleccionado como un sistema solo, es decir, no adquirirlos por separados debido a que como son máquinas ensambladas y que están en contacto directamente, tienen que tener los mismos parámetros de giro y potencia. En nuestro caso tanto la turbina como el generador poseen un trabajo neto de 1.72 MW.
- Por lo general el periodo de retorno de un sistema generador de energía eléctrica es muy largo, pero para asegurarnos que el TIR sea beneficioso es necesario trabajar con materia prima que no presente tantas complicaciones al momento de procesarla para generar electricidad.

## REFERENCIAS

- Ambientum. (Noviembre de 2020). *Ambientum*. Obtenido de Ambientum: [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/energia/RSU\\_e\\_industriales.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/RSU_e_industriales.asp)
- Banco Mundial. (20 de Septiembre de 2018). *Banco Mundial*. Obtenido de Banco Mundial: <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>
- Buendía Rojas, J. M. (2019). *Indicadores de Gerenciamiento de los Residuos Sólidos*. Lima, Perú.
- Burga Polo, G. P. (2015). *El reciclaje de residuos sólidos municipales para el desarrollo sostenible de Chiclayo*. Chiclayo, Perú.
- Carlos Cajo, F. E., & Tineo Flores, V. S. (2017). *Programa de prácticas socioambientales para el buen manejo de residuos sólidos generados por los comerciantes, caso Moshoqueque, Chiclayo 2017*. Lambayeque, Perú.
- Castañeda Silva, D. C., & Herrera García, J. L. (2019). *Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica utilizando biogás producido por estiércol de ganado vacuno para la hacienda El Potrero Bellavista - Jaén*. Jaén, Perú.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica Séptima edición*. México: McGraw-Hill .
- Cslapalma. (28 de Octubre de 2020). *Cslapalma*. Obtenido de Cslapalma: <http://www.cslapalma.org/5cubitos/que-son-los-residuos-organicos>
- Darci Campani, Rosalba Sarafian, D., & Tello Espinoza, P. (2018). *Gestión integral de residuos solidos urbanos*. AIDIS.
- Davila Torres, A., & Espinoza Altamirano, A. S. (2018). *Propuesta de un programa de manejo de residuos sólidos orgánicos en la sección de carnes y pescados del mercado modelo municipal de la provincia de Chiclayo - 2017*. Chiclayo, Perú.
- EcuRed. (31 de Octubre de 2020). *EcuRed*. Obtenido de EcuRed: [https://www.ecured.cu/Generaci%C3%B3n\\_de\\_Energ%C3%ADa\\_El%C3%A9ctrica](https://www.ecured.cu/Generaci%C3%B3n_de_Energ%C3%ADa_El%C3%A9ctrica)
- Endesa. (1 de Octubre de 2020). *Endesa*. Obtenido de Endesa: <https://www.endesa.com/es/conoce-la-energia/energia-y-mas/como-se-genera-electricidad>
- Fernández García, E. A. (2019). *Generación de energía eléctrica mediante gasificación de la cascarilla de arroz para un molino en Lambayeque*. Lambayeque, Perú .
- Guerra Rosales, N. A. (2016). *Generación eléctrica mediante gasificación por plasma de residuos sólidos municipales*. Santiago de Chile.

- Hernández López, S. (2015). *Diseño de una planta de gasificación de residuos sólidos urbanos para generación de electricidad con una pila de combustible*. Sevilla, España.
- INEI. (2020). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística e Informática: [https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1715/libro.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1715/libro.pdf)
- Infante Carbonel, C. R. (2019). *Plan de manejo de residuos sólidos para la limpieza pública municipal en el distrito de Chiclayo*. Chiclayo, Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Un análisis de la eficiencia de la gestión municipal de residuos sólidos en el Perú y sus determinantes*. Lima, Perú .
- Laplace. (2020). *Laplace*. Obtenido de Laplace: [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo\\_Brayton#:~:text=con%20r%20%3D%20pB%20%2F%20V,esta%20eficiencia%20es%20del%2044.8%25](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Brayton#:~:text=con%20r%20%3D%20pB%20%2F%20V,esta%20eficiencia%20es%20del%2044.8%25).
- Macías Lam, L. M., Páez Bernal, M. A., & Torres Acosta, G. (2018). *La Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos desde una perspectiva territorial en el estado de Hidalgo y sus municipios*. México.
- Medina Quiroz, K. A., & Pérez Calderón, A. G. (2019). *Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica utilizando biogás obtenido a partir de residuos sólidos urbanos en Jaén - Perú*. Jaén, Perú.
- Ministerio de Energía y Minas. (2019). *Estadística Eléctrica por Regiones*. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente. (Abril de 2018). *MINAM*. Obtenido de MINAM: [http://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos/wp-content/uploads/sites/136/2018/04/5.-Excel-de-C%C3%A1culos\\_ROM.xlsx](http://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos/wp-content/uploads/sites/136/2018/04/5.-Excel-de-C%C3%A1culos_ROM.xlsx)
- Montiel-Bohórquez, N. D., & Pérez, J. F. (2019). *Generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos. Estrategias termodinámicas para optimizar el desempeño de centrales térmicas*. Medellín, Colombia.
- Ortiz Núñez, J. P. (2017). *Diseño de una central eléctrica de biomasa conectado a la red eléctrica Puno, en el Cerro de Cancharani - Departamento de Puno*. Puno, Perú.
- Pinto Ruiz, R., Raj Aryal, D., & Venegas Venegas, J. A. (2019). *Biogás, la energía renovable para el desarrollo de granjas porcícolas en el estado de Chiapas*. Chiapas, México.
- Planética. (Julio de 2020). *Planética.org*. Obtenido de Planética.org: <http://www.planetica.org/clasificacion-de-los-residuos>
- Radio Programas del Perú. (24 de Febrero de 2019). *Chiclayo, la ciudad donde el tratamiento de la basura fracasó por la corrupción*. Obtenido de RPP Noticias : <https://rpp.pe/peru/lambayeque/chiclayo-la-ciudad-donde-el-tratamiento-de-la-basurafracaso-por-la-corrupcion-noticia-1182592>

- Redagrícola. (Marzo de 2017). *Redagrícola*. Obtenido de Redagrícola:  
<https://www.redagricola.com/cl/lo-basico-entender-biogas/>
- Senamhi. (2020). *Senamhi*. Obtenido de Senamhi:  
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-meteorologico>
- Twenergy. (1 de Febrero de 2019). *Twenergy*. Obtenido de Twenergy:  
<https://twenergy.com/energia/energia-electrica/que-es-la-energia-electrica-381/>
- Valdera Collantes, Z. M. (2018). *Proyecto de desarrollo local: promoviendo adecuado manejo de residuos sólidos en las familias del pueblo joven Ramiro Priale-José Leonardo Ortiz-Lambayeque*. Chiclayo, Perú.

# ANEXOS

## Anexo 1

### Modelo de cuestionario

Dirigida a personas con problemáticas de suministro eléctrico en sus viviendas
<b>Tema:</b> Generación de energía eléctrica empleando biogás a través de residuos sólidos urbanos
<b>CUESTIONARIO</b>
Fecha: ____/____/____
Nombre del entrevistado: _____
<b>OBJETIVO:</b> Conocer la problemática sobre el suministro eléctrico de algunas viviendas.
<b>PREGUNTAS:</b>
1. ¿Cuenta usted con energía eléctrica en su domicilio?
_____
_____
_____
2. ¿Cuánto es lo que paga al mes por la energía eléctrica? ¿Considera justo dicho pago?
_____
_____
_____
3. ¿Sabe usted cuanta energía eléctrica consume?
_____
_____
_____

4. ¿Estaría dispuesto a cambiar de empresa suministradora de energía eléctrica?

---

---

---

5. ¿Usaría energía eléctrica que provenga del biogás producido por residuos sólidos urbanos?

---

---

---

---

Entrevistador: \_\_\_\_\_

ELABORADO POR: **Chirinos Guerrero, Ronald Mauricio**

Anexo 2

Código de Ética de la Universidad Señor de Sipán



[www.uss.edu.pe](http://www.uss.edu.pe)

**CÓDIGO DE ÉTICA  
PARA LA  
INVESTIGACIÓN DE LA  
UNIVERSIDAD SEÑOR  
DE SIPÁN S.A.C.**



VERSIÓN 7

APROBADO MEDIANTE RESOLUCIÓN DE DIRECTORIO  
N.º 199 -2019/PD-USS

Versión: 7	F. Implementación: 06/11/2019	Página 1 de 17
Elaborado por: Vicerrectorado de Investigación	Revisado por: Consejo Universitario	Aprobado con Resolución de Directorio N° 199-2019/PD-USS

## Anexo 3

### Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú

#### **CÓDIGO DE ÉTICA DEL COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ**

##### **TÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES**

##### **CAPÍTULO I DE LA BASE LEGAL**

**Artículo 1.º** La Ley N.º 24648, Ley de Creación del Colegio de Ingenieros del Perú, promulgada el 20 de enero de 1987.

El Artículo 6.º de la Ley 24648 señala que un Estatuto aprobado por Decreto Supremo determinará de conformidad con la presente ley todo lo concerniente a la conformación, atribución y funciones de los diversos órganos del Colegio, el empleo y la distribución de sus rentas, las normas de colegiación y el ejercicio de la profesión de los ingenieros nacionales y extranjeros, las normas sobre Defensa y Ética Profesional y todos los otros aspectos que sean convenientes para su mejor funcionamiento.

**Artículo 2.º** El Estatuto del Colegio de Ingenieros del Perú, que establece el funcionamiento de los organismos deontológicos, así como las Faltas y los Procedimientos Disciplinarios.

**Artículo 3.º** La Ley N.º 16053, que autoriza al Colegio de Ingenieros del Perú supervisar a los profesionales de Ingeniería de la República.

**Artículo 4.º** La Ley N.º 28858, Ley que complementa la Ley N.º 16053, Ley que autoriza al Colegio de Ingenieros del Perú para supervisar a los profesionales de Ingeniería de la República y velar por que estas actividades se desarrollen dentro de las normas de ética profesional; además establece que todo profesional que ejerza labores propias de Ingeniería y de docencia de la Ingeniería, de acuerdo a Ley, requiere poseer grado académico y título profesional otorgado por una universidad nacional o extranjera debidamente revalidado en el país, estar colegiado y encontrarse habilitado por el Colegio de Ingenieros del Perú.

**Artículo 5.º** El Reglamento de la Ley N.º 28858, aprobado por el Decreto Supremo N.º 016-2008-VIVIENDA, que establece los criterios para la adecuada aplicación y cumplimiento de la Ley N.º 28858.

**Artículo 6.º** Texto Único Ordenado de la Ley del Procedimiento Administrativo General, Ley N.º 27444, aprobado mediante el Decreto Supremo N.º 06-2017-JUS, el cual rige supletoriamente en los procedimientos disciplinarios.



## Anexo 4

### Filtro de biogás Desotec AIRCON HC

20/11/2020	AIRCON HC   Desotec
<b>AIRCON HC</b>	
El <b>AIRCON</b> es un filtro móvil de carbón activo, especialmente desarrollado para el tratamiento y purificación de aire y gases.	
<b>Flujo hidráulico máx. (m<sup>3</sup>/h)</b>	50'-4000 ('to be increased for certain groups of chemicals)
<b>Presión máx. (bar)</b>	0.49
<b>Volumen útil máx. (m<sup>3</sup>)</b>	20
<b>Dimensiones (A x A x L) (m)</b>	7.8 x 2.6 x 2.6 m

## Anexo 5

### Ficha técnica de la turbina KG2 W/POWER OXIDIZER

Technical Data

#### Technical Data for Dresser-Rand KG2 Gas Turbines


	KG2-3G	KG2-3E	KG2 w/Power Oxidizer	KG2 Ext Fired
Power output	2MW	1.934MW	1.85MW	1.85MW
Fuel	Natural gas	Gas, liquid and dual fuels	Virtually any waste gas stream	External source
Frequency	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz
Gross efficiency	26%	18%	25.50%	25.50%
Output shaft speed	1,500 / 1,800 rpm	1,500 / 1,800 rpm	1,500 / 1,800 rpm	1,500 / 1
Pressure ratio	7:1	4:1	7:1	7:1
Exhaust mass flow	9.5 kg/s	15 kg/s	9.5 kg/s	9.35 kg/s
NOx emissions	≤ 24 vppm at 15% O <sub>2</sub> (with DLE)	Fuel dependent	< 1 vppm at 15% O <sub>2</sub>	


## Anexo 6

### Características de la turbina KG2 W/POWER OXIDIZER

DRESSER-RAND

## NEW TECHNOLOGY PRODUCES 1.85 MW OF CLEAN POWER

 ENER-CORE



#### FEATURES

- Class-leading fuel efficiency
- Highly effective recuperator
- Wide fuel specification tolerance
- Ultra-low emissions gradual oxidizer, <1 ppm NOx
- No catalyst and no chemicals used
- H<sub>2</sub>S and siloxane acceptance

#### KG2-3G/GO with Ener-Core Gradual Oxidizer Technology Generates up to 1.85MW of Clean Power Using Low-Quality Gasses

The Dresser-Rand KG2-3G/GO gas turbine with Ener-Core Gradual Oxidizer technology is the only clean power generation that runs directly on low-pressure, low-quality gases that otherwise could not be used. The system integrates oxidation technology with the field proven 2MW-KG2-3G gas turbine, to efficiently generate electricity with near-zero emissions.

The KG2-3G/GO gas turbine's wide fuel range enables operation on extremely low-grade or waste fuels, landfill gas, biogas, coal gas, and associated petroleum gas. Its ability to maintain near-zero emissions excels in regulated air quality markets without additional emissions controls.

The Dresser-Rand KG2-3G gas turbine is the preferred solution for clean power requirements from 1 to 12 MW with nearly 1,000 installed units with more than 25 million operating hours.

#### PACKAGE ARRANGEMENT

The KG2-3G/GO is a complete packaged solution that includes the KG2-3G, Gradual Oxidizer, generator and skid.

**GAS TURBINE**

- Industrial, single-shaft KG2-3G
- Single-stage compressor and turbine
- Cantilevered rotor configuration (no "hot" bearings)

**GENERATOR**

- Brushless synchronous generator
- Manufacturer of client's choice

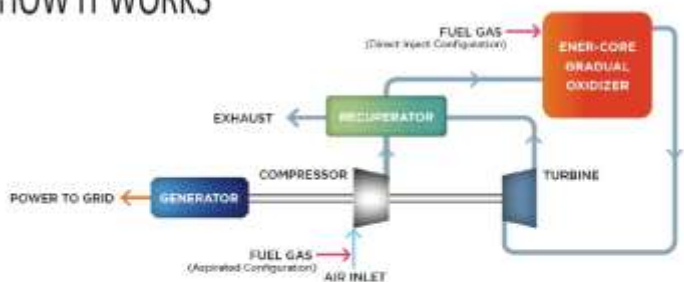
**PACKAGE**

- Steel base frame
- Integrated lube oil system
- PLC control system with monitoring
- Weatherproof acoustic enclosure
- Inlet and exhaust system

**GRADUAL OXIDIZER**


- Packed bed gradual oxidizer ("no moving parts")
- ASME pressure vessel
- Multi-fuel gas operation
- Ultra-low emissions

#### HOW IT WORKS



A Gradual Oxidizer replaces the combustor in the 1.85 MW system, and produces the heat to drive the turbine. With low-Btu fuels, fuel is aspirated with air prior to the inlet and oxidation, eliminating external compression and accepting low-pressure gas.

Higher quality fuels can be directly injected at a higher pressure upstream of the oxidizer, which results in virtually undetectable emissions. In both the aspirated and direct-inject configurations, low oxidation temperature enables the KG2-3GO to avoid the thermal formation of NOx.



74

## Anexo 6 - continuación

### Características de la turbina KG2 W/POWER OXIDIZER

#### DRESSER-RAND

##### GAS ENERGY VS. FUEL SUPPLY RATE

Caloric Value HHV (Btu/scf)	30	50	100	200	300	500	1,000	1,200	1,600	2,000	2,300	2,600
Flow Rate (scfm)	11,132	6,679	3,340	1,670	1,113	668	334	278	209	167	145	128
Caloric Value HHV (MJ/NM <sup>3</sup> )	1.2	2.0	3.9	7.9	11.8	19.7	39.4	47.3	63.0	78.8	90.6	102.4
Flow Rate (NM <sup>3</sup> /hr)	17,899	10,739	5,370	2,685	1,789	1,074	537	447	336	269	233	206

##### Fuel Requirements

###### CHARACTERISTIC

Fuel operating range (HHV)	Aspirated configuration Direct inject configuration
Nominal fuel supply pressure	Aspirated configuration Direct inject configuration

###### SPECIFICATION

25 - 2,600 Btu/scf (0.93 - 97 MJ/m <sup>3</sup> )
350 - 2,600 Btu/scf (13 - 97 MJ/m <sup>3</sup> )
5 psig (35 kPa)
140 psig (965 kPa)

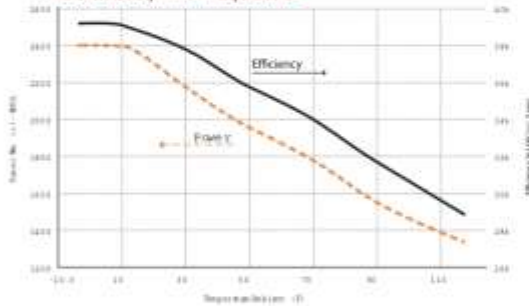
##### Electrical Performance\*

###### CHARACTERISTIC

Nominal electrical output	SPECIFICATION 1,850 kW (±30kW)
Electrical efficiency (LHV) (±2)	35% (±2)
Nominal heat rate (LHV)	9,750 Btu/kWh (10,286 kJ/kWh)
Generator voltage	400 V - 11 kV
Frequency	60 Hz / 50Hz

\*at ISO conditions

##### Electrical Output Graph Shows Change in Power and Efficiency With Temperature



Note: kW is electrical output at terminals corrected for parasitics, but not including gas booster power.

\* at ISO Conditions (59°F [15°C] @ sea level, 60% RH) unless otherwise noted

##### Generator Braking Resistor

###### CHARACTERISTIC

Weight	SPECIFICATION 5,000 lb (2,268 kg)
Dimensions	LENGTH WIDTH HEIGHT
	FEET 7.5 5.9 11.3
	METERS 2.3 1.8 3.5

##### Emissions

###### CHARACTERISTIC

Aspirated configuration	SPECIFICATION <1 ppmv NO <sub>x</sub>
Direct inject configuration	<1 ppmv NO <sub>x</sub> , CO, VOC

##### Exhaust

###### CHARACTERISTIC

Exhaust mass flow	SPECIFICATION 20.7 lb/Sec (9.4 kg/Sec)
Exhaust gas temperature	600°F (316°C)

##### Ambient Temperature Limit

###### CHARACTERISTIC

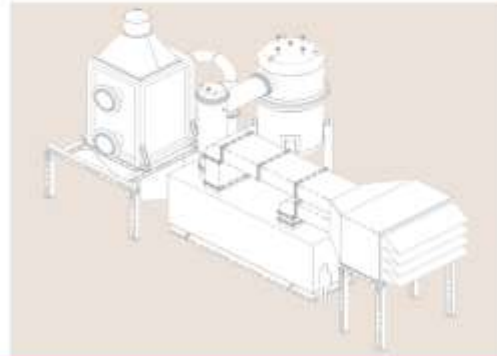
Temperature limits*	SPECIFICATION -40° to 115°F (-40° to 46°C)
---------------------	---

\*Some configurations may require additional cold-weather options

##### Physical Specifications

###### CHARACTERISTIC

System weight	SPECIFICATION 105,000 lb (47,627 kg)
Dimensions	LENGTH WIDTH HEIGHT
	FEET 50 22 27
	METERS 15.2 6.7 8.2



##### Regional Representative


Waste to Energy International  
Kuzborské náměstí 1301/11, 100 00 Praha, Czech Republic  
Tel: +420 2 5572 5432  
Skype: wto-international  
web: wtointernational.com/ener-core  
email: info@wtointernational.com

#### DRESSER-RAND

This document contains a general overview of the product's capabilities. It is only for informational purposes. Dresser-Rand does not warrant or guarantee the information contained herein, and it will be provided as an "AS IS" and "AS AVAILABLE" basis. Contact Dresser-Rand for detailed design and engineering information suitable to your specific application. Dresser-Rand reserves the right to modify its products and make product information available without prior notice.


## Anexo 7

### Central termoeléctrica Malacas




**CENRAL TERMOELÉCTRICA MALACAS (GRUPO A GAS TG6 (52,8 MW))**


<b>DENOMINACIÓN</b>	CENRAL TERMOELÉCTRICA MALACAS (GRUPO TG6)
<b>EMPRESA CONCESIONARIA</b>	ENEL GENERACIÓN PIURA
<b>TECNOLOGÍA</b>	Generación Termoeléctrica
<b>UBICACIÓN</b>	Piura Talara Paríñas 28 msnm
<b>DATOS TÉCNICOS DE CENTRAL</b>	Potencia a Instalar: 52,8 MW. Número de Unidades de Generación: 1 Fuente de Energía: Gas Natural / Biodiesel B5
<b>DATOS DE TURBINA</b>	TG6 Tipo: Dual Potencia Nominal (MW): 52,8 Velocidad Angular: 1800 rpm
<b>DATOS DE GENERADOR</b>	Potencia Nominal: 52,8 MW Tensión generación: 13,8 kV Factor potencia: 0,85 Velocidad: 1800 rpm
<b>DATOS DE TRANSFORMADOR</b>	Transformador existente Potencia: 75 MVA Nivel de Tensión: 13,8/220 kV
<b>DATOS DE CONTRATO</b>	Tipo de contrato: Modificación de Autorización Fecha de Resolución de Modificación: 17.01.2017 Puesta en Operación Comercial (POC): 23.02.2017
<b>INFORMACIÓN RELEVANTE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El proyecto nace por la necesidad de actualizar el parque de generación de la Central Malacas, considerando que las unidades TG1, TG2 y TG3 se encuentran fuera de servicio por obsolescencia.</li> <li>▪ El proyecto consiste en el reemplazo de las unidades existentes TGI, TG2 y TG3 por una única turbina a gas, unidad TG6, de una potencia estimada de 52,8 MW, dual (Gas Natural/Biodiesel B5) en ciclo abierto con su respectivo generador y equipos auxiliares.</li> <li>▪ El Gas Natural que abastecerá la nueva unidad provendrá de la planta de Paríñas, que actualmente abastece a la Central Malacas. El abastecimiento del Diésel B5 provendrá de los tanques de almacenamiento existentes dentro de la Central Malacas.</li> <li>▪ La interconexión del transformador de la TG6 con la red eléctrica del SEIN será a través del sistema de transmisión de las turbinas antiguas y la SE Talara propiedad de REP colindante con la CT Malacas.</li> <li>▪ El COES con carta COES/D/DP-1762-2014 del 11.12.2014 aprobó el Estudio de Pre Operatividad para el proyecto.</li> <li>▪ El COES con carta COES/D/DP-043-2017 del 13.01.2017 autorizó la conexión para las pruebas de puesta en servicio de la unidad TG6 de la CT Malacas.</li> <li>▪ El COES con carta COES/D/DP-039-2017 del 16.01.2017 aprobó el Estudio de Operatividad para el proyecto.</li> <li>▪ Con RM N° 003-2017-MEM/DIM del 17.01.2017, el MINEM aprobó la segunda modificación de la autorización para desarrollar la actividad de generación en la CT Malacas.</li> <li>▪ Actualmente se vienen realizando pruebas en la turbina TG6, previas a la Puesta en Operación.</li> <li>▪ El avance físico de la obra es de 96%.</li> <li>▪ La concesionaria prevé que la POC ocurra el 28.02.2017.</li> </ul>




**Plano de Ubicación**




**Chillers del Sistema de Enfriamiento**



**Avance de Obras**

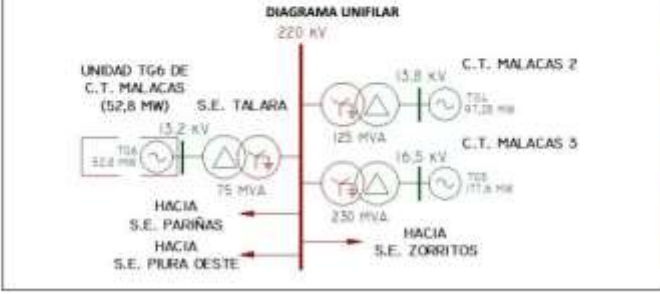


**TG6 (Turbina - Generador Siemens)**



**Tanque de transferencia de Diesel B5**

**DIAGRAMA UNIFILAR**



División de Supervisión de Electricidad  
 Unidad de Supervisión de Inversión en Electricidad – Enero 2017

108

## Anexo 7 - continuación

### Central termoeléctrica Chilca 1



#### CENTRAL TERMOELÉCTRICA CICLO COMBINADO CHILCA 1 (OPERANDO)

<b>DENOMINACIÓN</b>	CENTRAL TERMOELÉCTRICA CICLO COMBINADO CHILCA 1		
<b>EMPRESA CONCESIONARIA</b>	ENERSUR		
<b>TECNOLOGÍA</b>	Generación Termoeléctrica		
<b>UBICACIÓN</b>	Departamento: Lima Provincia: Cañete Distrito: Chilca Altitud: 40 msnm		
<b>DATOS TÉCNICOS DE CENTRAL</b>	Potencia Instalada: 862,2 MW Número de Unidades de Generación: 3 Turbinas a Gas + 1 Turbina de Vapor N° de Calderas de Recuperación: 3 Calderas de Recuperación Fuente de Energía: Gas Natural		
<b>DATOS DE TURBINA A GAS</b>	T.G. 1	T.G. 2	T.G. 3
Potencia Nominal	185,0 MW	185,0 MW	193,0 MW
Marca	SIEMENS	SIEMENS	SIEMENS
Modelo	SGT6	SGT6	SGT6
<b>DATOS DE TURBINA A VAPOR</b>	T.V. 1		
Potencia Nominal	299,2 MW		
Marca	General Electric		
<b>DATOS DE GENERADOR (T. V.)</b>	Generador 1		
Potencia	320 MVA		
Tensión de Generación	18 kV		
Factor de Potencia	0,85		
<b>DATOS DE TRANSFORMADOR (T.V.)</b>	Generador 1		
Potencia	192/256/320 MVA		
Nivel de Tensión	18/220 kV		
<b>DATOS DE CONTRATO</b>	Autorización MINEM		
Tipo de contrato	16.07.2010		
Firma de Contrato	15.11.2012 (la fecha de prevista fue el 23.08.2013)		
Puesta en Operación Comercial (POC)			



Plano de Ubicación



Calderos Recuperadores de Calor y Chimeneas Principales (Unidades 1 y 2)



Aerocondensadores

- INFORMACIÓN RELEVANTE**
- La central permite optimizar el uso del gas de Camisea para la generación eléctrica, mediante el aprovechamiento de la energía térmica remanente de los gases de combustión de las turbinas a gas de la CT Chilca 1, obteniendo rendimientos superiores.
  - La central comprende tres calderas de recuperación de calor (CRC), Turbina de Vapor, Quemadores para la producción adicional de calor y vapor, Sistema de Enfriamiento, Plantas de Agua, Subestación Eléctrica y Líneas de Transmisión, así mismo, considera el incremento de la altura de la chimenea de las turbinas de gas existentes.
  - Consiste en la conversión a ciclo combinado de la central termoeléctrica a gas de ciclo simple, mediante la instalación de una cuarta unidad de generación con Turbina a Vapor de 299,2 MW de potencia instalada; con lo que la citada central dispondrá de aproximadamente de 862 MW.
  - El sistema de enfriamiento del vapor turbinado es con aerocondensadores.
  - Mediante carta COES/D-571-2012 se aprobó la Puesta en Operación Comercial del ciclo combinado de la C.T. Chilca 1 desde el 15.11.12.
  - El monto aproximado de la inversión es de 374,0 MM US\$.

#### VISTA DE LA CENTRAL



Unidad de Generación (Turbina a vapor)

## Anexo 7 - continuación

### Central termoeléctrica Éten



#### CENTRAL TERMOELÉCTRICA ÉTEN (230 MW)-RESERVA FRÍA

<b>DENOMINACIÓN</b>	CENTRAL TERMOELÉCTRICA PLANTA ÉTEN		
<b>EMPRESA CONCESIONARIA</b>	PLANTA DE RESERVA FRÍA DE GENERACIÓN DE ETEN S.A.		
<b>TECNOLOGÍA</b>	Generación Térmica a Diesel - Gas Natural		
<b>UBICACIÓN</b> Departamento Provincia Distrito Altitud	Lambayeque Chiclayo Puerto Éten 4 msnm		
<b>DATOS TÉCNICOS</b> Potencia instalada Unidades de Generación Fuente de Energía Operación Unidad	230 MW Turbina Dual Diesel B5 / Gas Natural (GN) Ciclo Abierto (Simple) Turbina TG1 (General Electric)		
<b>DATOS DE CONTRATO</b> Tipo de contrato Firma de Contrato Puesta en Operación Comercial (POC) Precio por Potencia	Concesión Reserva Fría 21.07.2011 <b>12.06.2015</b> 7 627 US\$/MW mes	<b>Hitos</b> EIA Cierre Financiero Llegada de equipos	<b>Fecha de Cumplimiento</b> 05.06.2013 12.02.2014 19.02.2015
<b>SUPERVISOR DE OBRA</b>	HERNAR PERÚ S.A.C.		
<b>INFORMACIÓN RELEVANTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>El proyecto está ubicado en el distrito de Reque, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque y consiste en la construcción de una central termoeléctrica de 230 MW; para ello, se ha instalado una turbina dual (Diesel B5/GN) con su respectivo generador que operará en ciclo simple.</li> <li>La central operará inicialmente con Diesel B5 y estará preparada para operar con Gas Natural.</li> <li>Considera la construcción de la L.T. 220 kV S.E. C.T. Éten-S.E. Reque, para inyectar su energía eléctrica al SEIN.</li> <li>Las obras de esta central están concluidas; habiéndose verificado la instalación de la turbina dual General Electric (181 MW), el generador General Electric (281,2 MVA) eléctrico, el transformador de potencia ALSTOM (225 MVA ONAN- 300 MVA ONAF, 18/220 kV), grupo Black Start Wartsila (10 MW) y generador ABB (10,5 MVA), etc.</li> <li>Con carta COES/D/DP-491-2015 del 26.03.2015, el COES autorizó la conexión temporal de la central para las pruebas de puesta en servicio.</li> <li>La conexión temporal a las instalaciones del SEIN se realizó satisfactoriamente el 01.04.2015.</li> <li>Actualmente se vienen realizando las pruebas de comisionado.</li> <li>El día 25.05.2015 la central generó una potencia máxima de 67 MW.</li> <li>La Puesta en Operación Comercial está prevista para el <b>12.06.2015</b>.</li> <li>La inversión aproximada es de 145 MM US\$.</li> </ul>			
			
Turbina a Gas 230 MW		Patio de Llaves C.T. Éten	

## Anexo 7 - continuación

### Central termoelectrica Recka



#### CENTRAL TERMOELÉCTRICA RECKA (181,3 MW)

DENOMINACIÓN	CENTRAL TERMOELÉCTRICA RECKA
EMPRESA CONCESIONARIA	SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE S.A.A.
UBICACIÓN	Lambayeque Chiclayo Reque 22 msnm
DATOS TÉCNICOS DE CENTRAL	Potencia instalada: 181.3 MW Almacenamiento de Combustible: 2 tanques de 6 250 m <sup>3</sup> c/u Almacenamiento de Agua: 2 tanques de 9 900 m <sup>3</sup> c/u aproximadamente
DATOS DE LA TURBINA	Tipo: Dual Combustible: Diesel B5/Gas Natural
DATOS TÉCNICOS DE TRANSFORMADOR	Potencia: 230 MVA Nivel de Tensión: 18/220 kV
DATOS DE CONTRATO	Tipo de Contrato: Autorización Firma del Contrato: 15.08.2014 Puesta en Operación Comercial (POC): 28.02.2016

#### 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 será de tipo dual (Diesel B5/Gas Natural) para estar preparado en un futuro para la combustión de Gas Natural.
- También son parte de la central térmica proyectada las siguientes instalaciones principales:
  - Dos tanques de almacenamiento de combustible con una capacidad de almacenamiento total de 10 días de operación. Capacidad aproximada de cada tanque de 6 250 m<sup>3</sup> cada uno. El cubeto que contendrá el conjunto de tanques será de un volumen tal que permita contener por lo menos el 110% de la capacidad del tanque de mayor volumen.
  - Bombas de recepción y transferencia de Diesel B5.
  - Dos tanques de almacenamiento de agua cruda y Protección Contra Incendios (PCI) con una capacidad de almacenamiento total de 10 días de operación. Capacidad aproximada de cada tanque de 9 900 m<sup>3</sup>
  - Un tanque de agua desmineralizada de aproximadamente 600 m<sup>3</sup> de capacidad.
  - Planta de tratamiento de agua desmineralizada para inyección a la turbina.
- Cuenta con Estudio de Pre Operatividad aprobado mediante carta COES/D/OP-1300-2014 del 04.09.2014.
- Cuenta con CIRA N° 015-2013 otorgado el 12.08.2013.
- Cuenta con ESA 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.
- Se concluyó el montaje del turbogrupos, el montaje y pruebas de tanques de combustibles, el montaje y pruebas de tanques de agua bruta y contra incendio y el montaje de tuberías.
- Se concluyó con el montaje del transformador principal y se encuentra en proceso el montaje de los transformadores de servicio.
- Los equipos electromecánicos principales, se encuentran en obra.
- La concesionaria estima que la POC podría ser en diciembre 2015
- El avance en los trabajos de la central es 68% (ingeniería: 98%; compras: 96% y construcción: 52%).
- El monto de inversión estimada es de 10253 MMUS\$.

#### ESQUEMA UNIFILAR DE LA CENTRAL



Zona de Ubicación



Vista panorámica de las obras en construcción



Turbogenerador, montaje mecánico



Tanques de almacenamiento de combustible Diesel B5



Transformador de potencia en proceso de montaje

## Anexo 7 - continuación

### Central termoeléctrica Iquitos Nueva



#### CENTRAL TERMOELÉCTRICA IQUITOS NUEVA – RESERVA FRÍA (70 MW)

<b>DENOMINACIÓN</b>	CENTRAL TERMOELÉCTRICA IQUITOS NUEVA – RESERVA FRÍA	
<b>EMPRESA CONCESIONARIA</b>	GENRENT DEL PERÚ S.A.C.	
<b>TECNOLOGÍA</b>	Generación Térmica	
<b>UBICACIÓN</b>		
Departamento	Loreto	
Provincia	Maynas	
Distrito	Punchana	
Altitud	104 msnm	
<b>DATOS DE LA CENTRAL</b>		
Potencia Instalada	70 MW	
Tipo de Central	Termoeléctrica Dual	
N° de Unidades de Generación	7	
Fuente de Energía	Petróleo Industrial N° 6, Gas natural u otro	
<b>DATOS DEL MOTOR</b>	7 unidades	
Potencia Nominal	11,6 MW	
Velocidad Angular	-	
Marca	MAN (Modelo 20V32/44CR)	
Año de Fabricación	2014	
<b>DATOS DEL GENERADOR</b>	7 unidades	
Potencia Nominal	14,64 MVA	
Tensión de Generación	13,8 kV	
Factor de Potencia	0,8	
Marca	ABB	
Año de Fabricación	2015	
<b>DATOS DEL TRANSFORMADOR</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>
Potencia Nominal	50 MVA	50 MVA
Relación de Transformación	13,8/60 kV	13,8/60 kV
Marca	MACE	MACE
Año de Fabricación	2015	2015
<b>DATOS DE CONTRATO</b>	<b>HITOS</b>	
Tipo de Contrato	Concesión de Reserva Fría	Aprobación EIA
Firma de Contrato	18.09.2013	Llegada de Equipos
Precio por Potencia	16,95 US\$/MW-mes	POC
Puesta en Operación Comercial	05.06.2017	POC (1ra Ampl. a 69 MW)
		POC (2da Ampl. a 80,5 MW)
		05.06.2019



Ubicación de la Central



Vista de Montaje de Tubos de Escape



Instalación de Tablero Eléctrico

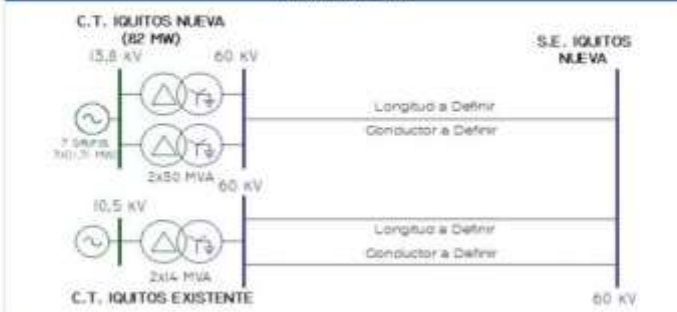


Instalación de pilotes en tramo aéreo de la línea

#### INFORMACIÓN RELEVANTE

- La central está ubicada a 10 km de la ciudad de Iquitos, cerca de la Refinería de Petróleo (Petroperú).
- La central se conectará al Sistema Aislado Iquitos, en la primera etapa, mediante una línea en 60 kV que llegará finalmente a la S.E. de la C.T. Iquitos existente. En la segunda etapa la central se conectará al SEIN en la S.E. Iquitos Nueva y entrará en régimen de operación de Reserva Fría.
- Con R.M. N° 486-2016-MEM/DM del 24.11.2016, declara procedente la solicitud de postergación de la POC hasta el 05.06.2017, la primera ampliación para el 05.06.2018 y la segunda ampliación para el 05.06.2019.
- Con R.M. N° 520-2016-MEM/DM del 16.12.2016, se otorgó la autorización por tiempo indefinido para desarrollar la actividad de generación eléctrica.
- GENRENT, ha solicitado al MINEM, ampliación de plazo de la POC de la C.T. Iquitos, por motivos de Fuerza hasta el 23.10.2017. De acuerdo al Numeral 5.5 del Contrato de Concesión le corresponde al Ministerio de Energía Minas calificar dicha Fuerza Mayor.
- Los factores de frenaje que impiden la continuidad normal de las obras son las fuertes lluvias en la zona del proyecto y la crecida del río.
- La central termoeléctrica tiene un avance físico al mes de marzo de 94%, la S.E. de salida 78%, la L.T. 60 kV de 25% y la S.E. de llegada a Electro Oriente 48%, siendo el avance global de 86%.
- La inversión aproximada será de 94,4 MM US\$.

#### DIAGRAMA UNIFILAR



División de Supervisión de Electricidad  
Supervisión de Inversión en Electricidad – Marzo 2017



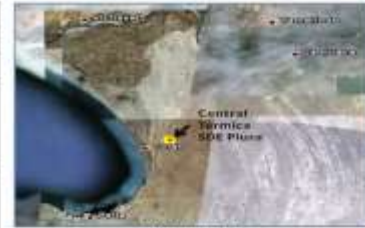
## Anexo 7 - continuación

### Central termoeléctrica Tablazo



#### CENTRAL TERMOELÉCTRICA TABLAZO

<b>DENOMINACIÓN</b>	CENTRAL TERMOELÉCTRICA TABLAZO
<b>EMPRESA CONCESIONARIA</b>	SUDAMERICANA DE ENERGÍA DE PIURA
<b>TECNOLOGÍA</b>	Generación Termoeléctrica
<b>UBICACIÓN</b>	Departamento: Piura Provincia: Paita Distrito: Tablazo Altitud: 80 msnm
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	Potencia Instalada: 30 MW Tipo de Central: Termoeléctrica Ciclo Abierto Combustible: Gas Natural Número de unidades de Generación: 1 Turbina Requerimiento de agua: 700 m <sup>3</sup>
<b>TURBINA</b>	Modelo de Turbina: SGT-700 Potencia: 30 MW Eficiencia Térmica: 36 %
<b>GENERADOR</b>	Potencia Efectiva: 30 MW Tensión de Generación: 13,8 kV Factor de Potencia: 0,9
<b>TRANSFORMADOR</b>	Nivel de Tensión: 13,8/60kV Potencia: 42 MVA
<b>DATOS DE CONTRATO</b>	Tipo de contrato: Autorización MINEM Firma de Contrato: 31.12.2011 Puesta en Operación Comercial (POC): 01.09.2012



Plano de Ubicación



Generador Eléctrico ABB de 30 MW



Torre de Enfriamiento de la Planta



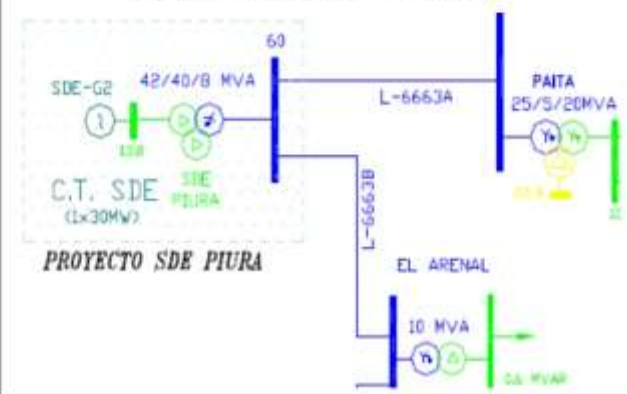
Transformador ABB de 42 MVA 60/13,8 kV



S.C. de Tablazo (Equipos del Páiso de llaves)

- **INFORMACIÓN RELEVANTE**
- La Central Termoeléctrica está ubicada en la zona de El Tablazo de Colón, para lo cual se han adquirido 20 000 m<sup>2</sup> en zona eriaza a 320 metros del km 45 de la carretera Paita – Suilana.
- El gas que sirve de combustible es transportado básicamente desde la estación PN-25 de Olympic Perú INC hasta la estación de Medición en el interior de la Central Térmica, en un tramo estimado de 13,5 km.
- La generación eléctrica se da a través de un ciclo abierto. El combustible que ingresa a la turbina es quemado en la cámara de combustión de la turbina, entregando los gases de escape su energía a las ruedas de los álabes del rotor de la turbina de gas. El rotor de la turbina a su vez impulsa a su homólogo de un generador, produciendo energía eléctrica, cuyo voltaje se eleva a la tensión de 60 kV, que es el voltaje con el que se interconectará al sub sistema de transmisión.
- La S.E. Tablazo tiene una configuración de barra tipo "π", su construcción incluye 3 bahías en 60 kV y 1 módulo de transformación; así como el espacio para futuras ampliaciones de la subestación.
- La C.T. Tablazo ingresó en operación comercial el 01.09.2012 (Carta COES/D-794-2012).
- El monto aproximado de la inversión fue de 22,5 MM US\$.

#### ESQUEMA UNIFILAR DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN



## Anexo 7 - continuación

### Central termoeléctrica Huaycoloro



#### CENTRAL TERMOELÉCTRICA HUAYCOLORO (OPERANDO)

<b>DENOMINACIÓN</b>	CENTRAL TERMOELÉCTRICA HUAYCOLORO		
<b>EMPRESA CONCESIONARIA</b>	PETRAMAS S.A.C.		
<b>TECNOLOGÍA</b>	Generación Termoeléctrica - Biomasa		
<b>UBICACIÓN</b>	Lima Provincia Huarochiri Distrito Huaycoloro Altitud 60 msnm		
<b>DATOS TÉCNICOS DE CENTRAL</b>	4,0 MW Número de Unidades de Generación 3 Grupos Diesel Fuente de Energía Gas		
<b>DATOS MOTOR COMB. INTERNA</b>	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
<b>DATOS DE TRANSFORMADOR</b>	2 x 3MVA Nivel de Tensión 0,48/22,9 kV		
<b>DATOS DE CONTRATO</b>	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 gaseoducto 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



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 - continuación

### Central termoelectrica La Gringa V



#### CENTRAL DE BIOMASA LA GRINGA V

<b>DENOMINACIÓN</b>	CENTRAL DE BIOMASA LA GRINGA V
<b>EMPRESA CONCESIONARIA</b>	CONSORCIO ENERGÍA LIMPIA
<b>TECNOLOGÍA</b>	Generación con Biogás
<b>UBICACIÓN</b>	
Departamento	Lima
Provincia	Huachipa
Distrito	Huaycoloro
Altitud	60 msnm
<b>DATOS TÉCNICOS DE CENTRAL</b>	
Potencia Instalada	3,2 MW
Número de Unidades de Generación	2 Grupos Electrónicos
Fuente de Energía	Residuos Urbanos (Gas de Huaycoloro)
<b>DATOS DEL GRUPO</b>	
Potencia Nominal	1,6 MW (Caterpillar G3520C)
Velocidad	1 200 RPM
Tensión de Generación	0,48 kV
<b>DATOS DE CONTRATO</b>	
Tipo de contrato	Contrato RER (Segunda Subasta)
Firma de Contrato	30.09.2011
Puesta en Operación Comercial (POC)	31.03.2015
Energía Anual Ofertada	14 016 MWh
Precio de energía Ofertado	9,999 Cts.USS / kWh
Barra de Conexión	Subestación Huachipa 22,9 kV/60 kV (LDS)

#### INFORMACIÓN RELEVANTE

- La C.T.B. La Gringa V se encuentra ubicada en las proximidades de Cajamarquilla, provincia de Huachipa, departamento de Lima. La misma contempla la instalación de dos grupos electrónicos 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.
- Habiéndose iniciado las obras de la C.T.B. La Gringa V, la concesionaria deberá solicitar su incorporación en el SEIN de acuerdo al Procedimiento N° 20 del COES.
- Con fecha 31.01.2014 la concesionaria solicitó al MINEM, la ampliación de la POC, incrementando carta fianza en 20%, la nueva POC, será el 31.10.2014.
- El 03.06.2014 con R.M. N° 260-2014-MEM/DM el MINEM aprobó la modificación del Contrato de Concesión.
- El proyecto ha sufrido un retraso por el cambio de motores Jenbacher 420 (1,4 MW) por Caterpillar 3520 (1,6 MW); razón por la cual no logrará entrar en operación comercial el 31.10.2014; en razón de ello, la concesionaria solicitará la modificación de la fecha de puesta en operación comercial del 31.10.2014 al 31.12.2014.
- Los pozos de extracción de gas se encuentran concluidos, utilizarán los pozos que alimentan a la C.T.B. Huaycoloro.
- El avance económico del proyecto es de 96%. La concesionaria incremento su garantía solicitando la ampliación de la POC para el 31.03.2015.
- El monto de Inversión aproximado es de 5,1 MM US\$.



Ubicación



Pozos de extracción de gas



Planta de captura de biogás



Sistema de compresión y limpieza de Biogás



Estación de quemado de gas