



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



Recibo de pago N° 793137

Visto el Informe N° 014-2025-PIEO-UI-FIMEE-UNSLG, emitido la operaria del sistema de antiplagio se emite la siguiente constancia:

N° 050-2025

CONSTANCIA

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica, hace constar que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de la **Tesis** cuyo título es:

**GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO
DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA MUNICIPALIDAD DE LA TINGUIÑA,
PROVINCIA DE ICA, 2023**

Presentado por:

BAEZ CENTENO, FERNANDO MARCELO RUBEN

BACHILLER de la Facultad INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA – Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA. El resultado obtenido es un porcentaje de DIEZ POR CIENTO (10%), por el cual se le otorga el calificativo de:

APROBADO

La presente rectificación de constancia se emite a solicitud del interesado, toda vez que para la emisión de la constancia primigenia N° 013-2025, por un error de digitación se le consigno sus datos personales de manera errada el mismo que decía: **BAEZ CENTENO, FERNANDO MARCELO RUBEN**

Ica, 25 de febrero del 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Dr. José Luis Donayre Pasache
DIRECTOR DE UNIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica



**“Generación de energía eléctrica a partir del
aprovechamiento de los residuos sólidos de la municipalidad
de la Tinguña, provincia de Ica, 2023”**

Línea de Investigación: Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnologías Sostenibles

TESIS.

Presentado por:

Bach. FERNANDO MARCELO RUBEN BAEZ CENTENO

Ica – Perú

2024

DEDICATORIA

A Dios por permitirme dedicar este trabajo a las personas que hicieron posible esta realidad.

A mí madre por su apoyo moral permanente.

A mis maestros por guiarme por el sendero del bien en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

En Gracias a Dios, por haberme dado la vida, acompañado a lo largo de mi carrera, por ser mi luz en mi camino y por darme la sabiduría, fortaleza para alcanzar mis objetivos.

Estoy muy agradecido con mi asesor el Ing. Roberto Cuba Acasiete por su apoyo y paciencia para culminar la elaboración de la tesis.

También agradezco a mi familia, porque su confianza y apoyo moral me permitió aprender más sobre la vida.

INDICE DE CONTENIDOS

Portada.	i
Dedicatoria.	ii
Agradecimientos	iii
Índice.	
- Índice de contenidos.	iv
- Índice de tablas.	vii
- Índice de figuras.	viii
Resumen	ix
Abstract.	x

CUERPO DEL INFORME FINAL

I. INTRODUCCIÓN.	10
1.1 Antecedentes de la Investigación	13
1.1.1 Antecedentes Internacionales	13
1.1.2 Antecedentes Nacionales	14
1.2 Bases teóricas	16
1.2.1 Generación de residuos sólidos a nivel nacional, generación per cápita de residuos y composición	16
1.2.2 Disposición final de residuos sólidos	16
1.2.3 Recolección, transporte y disposición final	17
1.2.4 Recolección, transporte y disposición final	17
1.2.5 Generación de residuos sólidos	21
1.2.6 Características de los residuos	21
1.2.7 Valorización energética	25
1.2.8 Generación de energía eléctrica	25
1.2.9. Biogás	26
1.2.10 Generación de energía a partir de la basura ¿Energía 100% limpia?	26
1.3 Marco conceptual	27
1.4 Planteamiento del Problema	34
1.4.1 Situación problemática	34
1.4.1.1 Problema General	34

1.4.1.2 Problemas Específicos	34
1.5 Justificación e Importancia	35
1.5.1 Justificación	35
1.5.2 Importancia	35
1.6. Objetivos	35
1.6.1 Objetivo General	35
1.6.2 Objetivos específicos	35
1.7. Hipótesis y variables de la Investigación	36
1.7.1 Hipotesis	36
1.7.1.1 Hipotesis General	36
1.7.1.2 Hipotesis especificas	36
1.7.2 Variables	36
II. Estrategia metodológica.	38
2.1 Tipo, Nivel y Diseño de Investigación	38
2.2 Población y Muestra	38
2.3 Técnicas de Recolección de la Información	40
2.4 Instrumentos de Recolección de la Información	40
2.5 Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de datos	40
III. Resultados	53
IV. Discusión	62
V. Conclusiones	63
VI. Recomendaciones	64
VII. Referencias bibliográficas	65
VIII. Anexos	67
VIII. Anexos	59

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Generación per cápita de los residuos sólidos domiciliarios	21
Tabla 2 Densidad de Residuos Sólidos Urbanos	23
Tabla 3 Capital, superficie y altitud del distrito de la Tinguina	39
Tabla 4 Población total del distrito de la Tinguina	39
Tabla 5 Estimación de la composición química de los residuos para la Medición 1	43
Tabla 6 Composición química de los residuos	44
Tabla 7 Valor % de RSU	47
Tabla 8 Val. Característicos	47
Tabla 9 Parámetros de RSU	47

ÍNDICE DE FIGURAS.

Fig. 1	Generación de energía eléctrica	26
Fig. 2	Vertedero con aprovechamiento del biogás (50% metano) o recuperador e gas para producir energía	27
Fig. 3	Distrito de La Tinguña	39
Fig. 4	Botadero del distrito de La Tinguña, Quebrada Cansas – Loma Larga	39
Fig. 5	Esquema síntesis del proceso de obtención del biogás.	46
Fig. 6	Diagrama energético de un ciclo de co-generación típico	51
Fig. 7	Conversión de residuos a sus formas secundarias de energía	52
Fig. 8	Esquema de funcionamiento de la Planta	53
Fig. 9	Sistema de Oxidación por Batch	54
Fig. 10	Sistema cBOS: Cámaras primarias (al frente), cámara secundaria secundaria (al fondo) y sist. De limpieza de gases (a la izquierda	55
Fig. 11	Sistema ORC.	57
Fig. 12	Flujos diarios resultantes	58
Fig. 13	Esquema de una planta de incineración con recuperación de energía.	61

RESUMEN

La presente tesis trató de la propuesta de generación de energía eléctrica a partir de los residuos sólidos municipales en el distrito de La Tinguina. Se tuvo la problemática ambiental relacionada a todo lo que fueron residuos sólidos municipales a nivel nacional, de hecho, fue una problemática a nivel internacional, pero se enfocó precisamente a los aspectos locales y de manera más localizada, aquí en el Distrito de la Tinguina. En este contexto, las propuestas para la generación de energía a partir de los residuos sólidos municipales se emplearon para transformar, reducir el volumen y peso de los residuos sólidos, así como para recuperar productos de conversión de energía por medio de la termo valorización. La presente tesis promovió el fortalecimiento y consolidación de la infraestructura técnica requerida para enfrentar los retos científicos y tecnológicos. En ese sentido, la implementación del sistema de combustión de materiales con bajo poder calorífico contribuyó al escalamiento de otros prototipos experimentales basados en el mismo principio. El análisis se realizó mediante el cálculo analítico del análisis termodinámico mediante diagramas de procesos y se contrastaron los resultados con el software especializado. Los indicadores económicos del proyecto serán positivos, lo que sugiere que se tratará de una inversión viable.

Palabras clave: Energía de los residuos; Energía renovable; Residuos Sólidos; Urbanos; Gasificador.

ABSTRACT.

This thesis dealt with the proposal for generating electric energy from municipal solid waste in the district of La Tinguina. The environmental problem related to all municipal solid waste was addressed at a national level, in fact, it was a problem at an international level, but it focused precisely on local aspects and in a more localized manner, here in the District of La Tinguina. In this context, the proposals for generating energy from municipal solid waste were used to transform, reduce the volume and weight of solid waste, as well as to recover energy conversion products through thermal valorization. This thesis promoted the strengthening and consolidation of the technical infrastructure required to face scientific and technological challenges. In this sense, the implementation of the combustion system for materials with low calorific value contributed to the scaling of other experimental prototypes based on the same principle. The analysis was carried out by means of the analytical calculation of the thermodynamic analysis using process diagrams and the results were compared with specialized software. The project's economic indicators will be positive, suggesting that it will be a viable investment.

Keywords: Energy from waste; Renewable energy; Solid waste; Urban; Gasifier.

I.- INTRODUCCIÓN

De acuerdo a estudios realizados hasta el 2002, se determinó que la generación de residuos sólidos municipales por día era de 12,986 toneladas, lo cual, si se realiza la estimación por año, hace una cifra de 4,74 millones de toneladas, este 100% solo el 73.7% las municipales tienen control sobre ellas, del cual solo el 19.7% tiene como disposición final en rellenos sanitarios.

Estas condiciones que generaban graves problemas de sanidad pública y contaminación ambiental, llevaron al Consejo Nacional del Ambiente (en adelante, **CONAM**) a elaborar y aprobar el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos, el cual estableció lineamientos, estrategias y actividades con el objetivo de mejorar las condiciones de la gestión y manejo de residuos sólidos a nivel nacional en el periodo 2005-2014 [1].

El Ministerio del Ambiente [2] (en adelante, **MINAM**) ha centrado sus esfuerzos en mejorar la Calidad Ambiental a nivel nacional, incorporando la gestión integral de residuos sólidos como parte de este objetivo. En ese sentido, la Agenda Nacional de Acción Ambiental y el Plan Nacional de Acción Ambiental PLANAA PERÚ 2011-2021 incorporan como objetivo prioritario a la gestión integral de residuos sólidos a nivel nacional, estableciendo cuatro metas definidas a ser cumplidas hacia el 2021[3]. Asimismo, el MINAM también ha centrado grandes esfuerzos hacia el mejoramiento operativo de la gestión y manejo de residuos sólidos de parte de los gobiernos locales, en ese sentido se tienen diversas iniciativas y proyectos que buscan mejorar los servicios de limpieza pública, la construcción de infraestructura para el manejo de residuos sólidos [4], el incremento del reciclaje de residuos sólidos municipales, educación ambiental hacia el consumo responsable entre otros.

Para el año 2014, de acuerdo a los datos obtenidos en la gestión integral de residuos sólidos, muestra que por año se genera 7,5 millones de toneladas de residuos sólidos municipales, de este total de residuos solo la mitad que representa el 50% fueron direccionados a un relleno sanitario como parte de su disposición final. Esto demuestra que, si bien se ha dado un avance en la gestión integral de residuos sólidos, los problemas de contaminación ambiental y de salud pública relacionados a estos, están todavía presentes en nuestro país [5].

El aprovechamiento de estos residuos como los son (urbanos, industriales, aguas residuales, residuos agrícolas y ganaderos, entre otros) se pueden reutilizar para la generación de energía útil.

Lo que genera una fuente de producción energética con un gran potencial, que contribuye a una gestión de residuos más sostenible. Evitando así que los residuos liberen gases de efecto invernadero y que lleguen a la atmosfera.

Se ha visto como el manejo incorrecto de estos desechos ha generado y ha tenido un impacto negativo. Lo que ha llegado a generar afectaciones a la salud, en forma de enfermedades; o puede también tener efectos perjudiciales al medio ambiente: en lo estético de las ciudades, los paisajes naturales y en sus especies, y en la contaminación del agua, suelo y aire

La incineración de RSU es el método más usado entre los procesos termoquímicos, esto se debe a que tiene la capacidad de procesar residuos con composición heterogénea [6]. Sin embargo, este proceso se da a altas temperaturas, lo que favorece la emisión de sustancias con grave impacto en el ambiente y la salud pública, tales como NO_x , SO_x , HCl, CO, MP, PCDDs y PCDFs, donde se destacan las PCDDs y PCDFs por sus propiedades físico-químicas y por ser clasificados como agentes cancerígenos (Castaldi et al., 2017; [7]. a). Los incineradores a gran escala más usados para procesar los RSU, suelen ser calderas de parrilla móvil bajo regímenes de combustión directa, las cuales operan con aire primario (superior al estequiométrico), y aire secundario para garantizar la oxidación del material sólido carbonoso, por lo que alcanzan temperaturas en torno a los 1.500 K [8], plantean modificar el régimen de operación de los sistemas tradicionales basados en combustión a condiciones sub-estequiométricas, reduciendo el aire primario entre un 50% y 60%. Este modo de operación reduce el material particulado y los metales pesados evaporados en la corriente de gases, se obtienen menores temperaturas en el lecho y por tanto menor formación de NO_x , MP, SO_x , PCDDs y PCDFs, y disminuye la tendencia a fusión de las cenizas [9]. Estos aspectos reducen los costos de operación y mantenimiento de las plantas. Sin embargo, las menores temperaturas reducirán la conversión de carbón en el proceso, aumentando el contenido de carbón en la ceniza (Yang et al., 2007). No obstante, la conversión de carbón puede alcanzar valores superiores al 99% ajustando los parámetros de la caldera, tales como tiempo de residencia del material incinerado bajo condiciones sub-estequiométricas [8].

El proceso de gasificación, conocido como oxidación parcial de sólidos carbonosos, transformará los RSU en una mezcla de especies gaseosas formada principalmente por CO, CO_2 , H_2 , CH_4 , H_2O , y N_2 . El gas será oxidado con el aire secundario buscando aumentar la eficiencia de combustión global, y reduciendo los impactos ambientales negativos, asociados a la formación de emisiones contaminantes, por lo que se considera un proceso más sostenible que la incineración [10]. En las calderas de parillo móvil la transformación termoquímica del

sólido se desarrolla de modo similar al lecho fijo, donde los principales sub-procesos son el secado, la devolatilización, la oxidación y la reducción [8].

El alto contenido de material orgánico en los RSU (~60%) le proporciona un alto contenido de humedad, por ello resulta de gran interés analizar el efecto de la humedad en la gasificación. Con el mayor contenido de humedad de los RSU, disminuye la temperatura del proceso, el poder calorífico del gas de gasificación y la eficiencia de segunda ley. Esto se debe al mayor consumo energético requerido para evaporar el agua, ya que la menor temperatura de proceso inhibe la producción de gases combustibles [11]. A medida que la temperatura del proceso de gasificación aumenta, las reacciones de gasificación se favorecen y con ello aumentan las concentraciones de H_2 y CO , derivando un incremento en la eficiencia del proceso (Bhavanam y Sastry, 2013; [12]).

El estudio sintetiza el enfoque de los tipos de tecnologías de tratamiento o disposición sobre los residuos sólidos, con la finalidad de generar energía eléctrica. La situación actual de las ciudades en el país es preocupante, ya que al aumento de la población, crecimiento urbanístico y crecimiento industrial, hay un aumento insuperable sobre la generación de residuos sólidos, es ahí donde viene a tomar fuerza sobre la atención hacia las tecnologías que se debe considerar para la disposición final de los residuos, uno de ellos son los rellenos sanitarios o lugar de almacenamiento a cielo abierto.

Para lo cual, se debe considerar las características físicas, químicas y biológicas de los residuos, todo ello servirá en el proceso de transformación, en el caso de los residuos orgánicos se debe considerar los microorganismos que van a ayudar a la descomposición, generando biogas y lixiviación. Por otro lado, se tienen las tecnologías de conversión termoquímica, su principal característica es la generación de combustión, es así que se toma en cuenta los impactos ambientales, calentamiento global, costos, elementos, materiales y los procesos que se debe considerar para hacer posible la generación de energía, los gases obtenidos por este proceso, pirólisis y también los que se basan en plasma. Por lo mencionado en líneas arriba, se resumen la cantidad de formas en cuanto a tecnologías que se puede utilizar para el tratamiento de los residuos sólidos y que sean aprovechados como energía. Siendo uno de los principales problemas del país y es aquí donde se da a conocer las soluciones más probables y amigables con el ambiente.

Se hace necesario que se puedan implementar estas nuevas tecnologías en el tratamiento de residuos sólidos, debido al aumento de la generación de residuos, enfocados en el sobre consumismo, es decir, la población debido a sus características como social, económico y

ambiental, opta por el consumo en grandes cantidades de materiales que no necesita, es por ello que, los residuos en su mayoría se hace incontrolable, para que tenga una disposición final adecuada y que se tenga control y manejo de éstos, se debe aprovechar para que sea útil en otros aspectos como energía, el reciclaje como materia prima para producir nuevos productos o servicios. Términos como la sostenibilidad es uno de los pilares en que se basa el tratamiento de residuos sólidos urbanos, las necesidades de los seres humanos provoca el aprovechamiento descontrolado de los recursos naturales en donde hace su entrada la gestión de materiales sostenibles.

En las rutas biológicas se genera el biogás mediante la digestión anaerobia en rellenos sanitarios, así como el generado en las parcelas orgánicas de RSU, utilizando biodigestores y bioreactores, entre otros.

1.1 Antecedentes de la Investigación

1.1.1 Antecedentes Internacionales:

Según una investigación internacional, **Orbe** presentó en su estudio una evaluación cuantitativa del potencial energético de los residuos orgánicos sólidos en la ciudad de Loha y un análisis de la viabilidad de implementar una planta de incremento energética de desechos. Para ello se utiliza como metodología un tipo de investigación básica con diseño descriptivo y enfoque cuantitativo. Según los resultados obtenidos, los residuos orgánicos sólidos aumentarán de 36.500 toneladas a 52.719 toneladas en 20 años. Además, los residuos orgánicos sólidos se utilizan para producir 28,3 GWh de energía al año de esta energía total. El 50% se transforma en energía térmica, el 30% en energía eléctrica y el 20% en pérdidas energéticas, las cuales se consideran parte del proceso de producción de energía. Del 10 al 5% de la electricidad total producida en este proceso es utilizada por la propia planta de digestión anaeróbica y el resto, es decir, el 90%, está disponible en el mercado eléctrico. [13]

La investigación de **Gómez** también apunta a desarrollar biodigestores que puedan utilizar desechos porcinos para producir energía y que actualmente se están poniendo en marcha en ciertos países, incluidos Argentina, Chile y Perú, incluido México. Es un país con una visión clara de su país y del uso de la energía natural.

Uno de los dispositivos para procesar los desechos orgánicos de este modelo de industrias es la biocatálisis, que fermenta y descompone los residuos orgánicos para producir biogás y otros componentes que ayudan a reducir significativamente la descomposición de los residuos. Una vez que los biodigestores se introduzcan en la ciudad de Teavana, serán una opción rentable. Esto se debe a que es una alternativa que no sólo resuelve los problemas medioambientales, sino que también supone un ahorro económico para las explotaciones porcinas. A través de la autosuficiencia en la producción de electricidad [14].

Montiel-Bojorquez y Pérez [15] también presentan el objetivo de identificar estrategias para el proceso de fase de gasificación termodinámica en condiciones subestequiométricas para el aprovechamiento de residuos sólidos urbanos a escala industrial mediante incineración de estos residuos. . Utiliza una metodología básica que proporciona una aproximación de las cantidades de residuos y energía que se pueden generar y una serie de características sobre las que se realizan las simulaciones. Como resultado, la producción de residuos sólidos municipales de Medellín es de 1.800 toneladas diarias, lo que tiene un potencial energético de 28 a 44 MW de electricidad.

Además, el estudio de **Alvarado et al.** [16] presenta el propósito de analizar el estado actual de la tecnología de pilas de combustible según el uso de un generador que utiliza biogás generado a partir de residuos sólidos domiciliarios. Se utiliza como metodología principal y tiene un valor explicativo. Como resultado, un promedio del 80% de los residuos sólidos domésticos termina en vertederos, acequias, arroyos y ríos. Sin embargo, estos proyectos deben seguir fomentando el uso de residuos sólidos, siendo países como Estados Unidos y Japón pioneros en este campo y recibiendo apoyo de gobiernos internacionales.

En su investigación, **Cardona** pretende desarrollar un estudio de viabilidad de una Planta de recuperación de residuos en energía del Valle del Abra. La metodología utilizada es descriptiva y de tipología básica. Como resultado, se aseguró una producción media diaria de 3.190 toneladas en el valle de Abura hasta 2030. El 40% del total de residuos sólidos generados está compuesto por residuos orgánicos, aprovechándose 55 toneladas. Según las estimaciones, además del 30% de residuos sólidos reciclables, varias recomendaciones detalladas en el estudio estiman el uso de un 70% Wh/t de residuos sólidos municipales además de su potencial eléctrico

real, pero estos datos son precisos en términos de su viabilidad. Etapas del generador eléctrico de residuos sólidos domiciliarios. [17]

1.1.2 Antecedentes Nacionales

Según un estudio nacional, **Domínguez y Flores** [18] tuvieron como objetivo identificar energía a partir de residuos sólidos para su uso como electricidad en la región de Chimbote. Para ello utilizan métodos inductivos-deductivos a nivel técnico, recopilando información sobre población y generación de residuos sólidos en la zona para obtener datos como la generación de residuos sólidos (RSC) per cápita. 0,73 kg/día, la población estimada en 2020 es de 391.872 habitantes y la producción anual de residuos sólidos es de 10.441,9 toneladas. También se espera que produzca 13.110,31 MW de energía por día en 2020.

Asimismo, **Blas** [19], en su actividad investigadora, tuvo como objetivo principal evaluar el impacto del manejo de los RSU en el municipio de la comunidad de Tanta. Lima.

La metodología utilizada en el estudio fue cuantitativa y se basó en un diseño experimental preliminar. Según la muestra, en el distrito de Tanta viven 507 personas, contando 180 hogares, incluidos 138 hogares. El cuestionario como herramienta y técnica utilizada fue una encuesta. Los hallazgos contribuyen a fortalecer la participación familiar en el mantenimiento de una adecuada separación en el hogar y la entrega oportuna de los residuos orgánicos en el proceso de compostaje. Nos tomamos en serio las prácticas de reciclaje.

Además, **Maquera** [20] en su estudio pretende explicar cómo el proceso de generación de electricidad consiste en un método de gasificación utilizando residuos sólidos. Utiliza metodología descriptiva y diseños no experimentales en sus investigaciones. Métodos y herramientas de acumulación de datos: notas de campo, bibliografía y encuestas. Por tanto, según la información recopilada, la generación de residuos sólidos per cápita (RSA) en el distrito de Ilo fue de 0,46 kg/persona y la generación anual de residuos sólidos domésticos fue de 11.519,4 toneladas. Por lo tanto, la humedad generada durante la generación de energía no es adecuada para el proceso, por lo que se requiere un precalentamiento hasta que el porcentaje de humedad disminuya.

De igual forma, **Ascanio** [21] afirmó que el objetivo principal de este estudio es proponer un plan regional de manejo de residuos sólidos.

El Tambo tiene un interés particular en minimizar los residuos sólidos y maximizar la reutilización y el reciclaje de los residuos sólidos, teniendo en cuenta la Agenda 21. Dar prioridad a la integración de la planificación política, económica, social, cultural y territorial en el desarrollo y la gestión sostenible y ecológica fue un gran paso adelante. Para lograrlo, se recomienda una gestión integrada de residuos que promueva la reducción, la reutilización y el reciclaje adecuado. En este contexto, la investigación y el desarrollo se basaron en la definición del problema, la justificación y los desafíos.

La naturaleza del muestreo estadístico y probabilístico y la adición de referencias necesarias aseguraron que los resultados obtenidos con la metodología utilizada se desarrollaran sistemáticamente. Uno de los resultados más importantes alcanzados es el volumen total de emisiones de residuos municipales en la zona de El Tambo. Un total de 97.168,36 kg/día, de los cuales el 79% fueron residuos orgánicos y el 21% residuos inorgánicos. y la producción de A A per cápita se observó de 0,659%kg/día. Se consideran residuos reutilizables y el 22,49% son residuos no reciclables. La población en 2029 será de 24.901,71 y la producción de residuos sólidos en 2029 será de 4.526,38 toneladas/año. La producción de electricidad en 2020 fue de 3.781,30 toneladas/año y la eficiencia del sistema fue del 50%, 60% y 80%, produciendo 12.046.376 kWh/año, 14.455.651 kWh y 19.274.201 kWh/año respectivamente. En comparación con la energía producida a partir de los desechos sólidos domésticos y las necesidades de la persona, la producción de energía es muy baja y satisface las necesidades de los habitantes de Pomalca.

1.2 BASES TEORICAS

1.2.1 Generación per cápita de residuos sólidos a nivel nacional

De acuerdo a datos obtenidos por estudios, menciono que en el 2014 se generó un total de 7 497 482 toneladas de residuos municipales, de esta cantidad, el 64% son domiciliarios y el resto es no domiciliario como derivados de la construcción, peligrosos, industriales, sientos de las 3 regiones que posee el Perú, la costa es la que genera mayores cantidades de residuos, una de ellas que lidera la lista está Lima Metropolitana y callao, en donde se estima una generación de residuos por día de 9 794 toneladas.

Respecto a la composición de residuos sólidos generados en el 2014 es importante resaltar que el 53,16% de los residuos sólidos son materia orgánica, el 18,64% son residuos no reaprovechables.

1.2.2 Disposición final de residuos sólidos

Según las normativas vigentes del país, los responsables del control, regulación, tratamiento y disposición final de los residuos son las municipalidades. Esto incluye de residuos sólidos, vertimientos industriales, asimismo, las municipales deben de gestionar la limpieza de las áreas públicas, en donde se haya identificado la acumulación de desechos, además, de gestionar rellenos sanitarios para la acumulación de los residuos. Por otra parte, en el 2014 se publicaron cifras de la generación de residuos en las municipalidades por año, el cual representa 7 497 482 toneladas por año.

Hoy en día, el principal problema que tiene el Perú es la falta de lugares en donde se haga el tratamiento adecuado de los residuos, debido al aumento de la generación estos, por lo que de acuerdo a diagnósticos realizados, se necesita 190 ambientes de disposición final de residuos sólidos urbanos, sin embargo, en el año 2014 existían solo 11 rellenos sanitarios con todos los permisos y autorizaciones correspondientes, y 10 instalaciones para la disposición de residuos del ámbito no municipal a nivel nacional.

1.2.3 Recolección, transporte y disposición final

Según información provista por los gobiernos locales mediante la plataforma SIGERSOL, se tiene una cobertura de 93,74% de la población urbana con sistema de recolección de residuos sólidos. Sin embargo, sólo 3 309 712 toneladas²⁵, es decir, menos del 50% fueron dispuestos en un relleno sanitario, tal como dicta la normatividad vigente; dejando al restante de residuos sólidos dispuestos inadecuadamente en botaderos u otras instalaciones de disposición final. Esto demuestra que, aun brindándose una adecuada cobertura en el servicio de limpieza pública, estos carecen de un impacto real positivo en la población y el ambiente, si al final del ciclo del manejo de estos residuos, se desecha sin ningún control afectando a la salud de la población e impactando negativamente al entorno.

1.2.4 Tratamiento de los residuos

Según (OEFA, 2023) el tratamiento es un proceso, método o técnica cuyo objetivo es modificar las características físicas, químicas o biológicas de los residuos para reducir su peligrosidad, permitir su reutilización o valorización, y gestionarlos de forma eficaz, segura e higiénica, teniendo como formas de tratamientos la Reducción en origen, reutilización, reciclaje, valorización energética, disposición final. Dando como ejemplos de tratamientos específicos el secado, compactación, compostaje, estabilización biológica, incineración.

Formas de tratamiento de residuos sólidos:

- a. Reducción en origen: Disminuir la cantidad de residuos generados desde su origen. Esta es la forma más efectiva de reducir el impacto ambiental de los residuos. Se puede lograr mediante:
 - Diseño ecológico de productos: Productos que sean más duraderos, reparables y reciclables.
 - Consumo responsable: Comprar solo lo que se necesita y evitar productos con exceso de embalaje.
 - Compostaje: Convertir los residuos orgánicos en compost para usar en jardines o huertos.
- b. Reutilización: Dar un nuevo uso a los residuos sin procesarlos. Algunos ejemplos son:
 - Reparar objetos dañados.
 - Donar ropa y muebles en buen estado.
 - Utilizar envases retornables.
- c. Reciclaje: Convertir los residuos en nuevos productos. Los tipos de reciclaje pueden ser:
 - Reciclaje primario: Es el proceso de convertir materiales reciclados en nuevos productos del mismo tipo. Por ejemplo, convertir papel usado en nuevo papel.

- Reciclaje secundario: Es el proceso de convertir materiales reciclados en nuevos productos de diferente tipo. Por ejemplo, convertir botellas de plástico en muebles de jardín.
 - Reciclaje terciario: Es el proceso de convertir materiales reciclados en energía. Por ejemplo, convertir papel usado en biocombustible.
- d. Valorización energética: Obtener energía a partir de los residuos. Se puede realizar mediante:
- Incineración: Quemar los residuos a altas temperaturas para generar calor o electricidad.
 - Digestión anaeróbica: Descomponer los residuos orgánicos en ausencia de oxígeno para producir biogás.
- e. Disposición final: Depositar los residuos en un lugar seguro y controlado. Se debe realizar en:
- Rellenos sanitarios: Instalaciones diseñadas para minimizar la contaminación del medio ambiente.
 - Vertederos controlados: Sitios donde se depositan los residuos de forma controlada.

Ejemplos de tratamientos específicos:

- Secado: Eliminar la humedad de los residuos para facilitar su manejo y almacenamiento.
- Compactación: Reducir el volumen de los residuos para optimizar el transporte y almacenamiento.
- Compostaje: Transformar los residuos orgánicos en un material rico en nutrientes para la agricultura.
- Estabilización biológica: Descomponer los residuos orgánicos mediante microorganismos para reducir su volumen y peligrosidad.
- Incineración: Quemar los residuos a altas temperaturas para obtener energía y reducir su volumen

Tratamiento de los residuos sólidos peligrosos

Según el MINSA (2023), para todos los tipos de tratamiento se requiere:

- Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)
- Programa de Adecuación y Gestión Ambiental (PAMA) emitido por la DIGESA
- Aprobación del proyecto de infraestructura de tratamiento por parte del director de Salud

Si la EESS o SMA ya está en funcionamiento, debe elaborar un PAMA que debe ser aprobado por la DIGESA.

Todas las plantas de tratamiento de residuos de EESS y SMA deben contar con un permiso del Ministerio de Salud, según lo establecido en la Ley General de Residuos Sólidos (Decreto Supremo N° 057-2004-PCM).

El método de tratamiento utilizado no debe ser perjudicial para la población hospitalaria ni para el medio ambiente.

Procesos de tratamiento de los residuos sólidos

El MINSA (2023) recomienda los siguientes tratamientos:

Métodos físicos:

- Incineración
- Pirólisis
- Desinfección por microondas
- Esterilización por autoclave

Métodos químicos:

- Desinfección química

Métodos biológicos:

- Compostaje

Tratamiento por Incineración.

La incineración puede ser un método importante para el tratamiento y la depuración de los residuos sólidos. La oxidación a altas temperaturas (850-1200 °C) convierte los compuestos orgánicos en óxidos gaseosos, principalmente dióxido de carbono y agua. Los componentes inorgánicos se mineralizan y se convierten en cenizas.

La incineración puede eliminar hasta el 99,99% de los patógenos.

Tratamiento con microondas.

Se trata de un proceso que utiliza la radiación electromagnética de onda corta a una frecuencia de 2450 MHz. La energía emitida a esta frecuencia actúa únicamente sobre las moléculas de agua de la materia orgánica y provoca un cambio en su nivel de energía, que adopta la forma de una oscilación de alta frecuencia. Las moléculas de agua se frotan entre sí y generan calor, aumentando la temperatura del agua del material, lo que provoca la desinfección de los residuos.

Disposición final de los residuos

La disposición final de un residuo es la operación o proceso para el tratamiento y la eliminación de los residuos sólidos que constituye el último paso en la gestión de los residuos sólidos de forma sostenible, higiénica y respetuosa con el medio ambiente.

Responsabilidades:

- **Generador:** El responsable de la gestión y eliminación de los residuos sólidos es el generador de estos, en este caso la SMA o EESS.
- **Empresas de transporte y tratamiento:** Si el transporte, la recogida y la eliminación de los residuos peligrosos se confían a empresas registradas y autorizadas por la EPS-RS, la responsabilidad de esta actividad también recae en estas empresas.
- **Autoridades competentes:** La eliminación de los residuos sólidos debe realizarse en una instalación de eliminación registrada por la DIGESA y aprobada por la autoridad competente.

Requisitos:

- Instalaciones: Las instalaciones de eliminación deben tener cámaras específicamente diseñadas para estos residuos.
- Transporte: El responsable de la gestión de los residuos en el SMA o EEES debe asegurarse de que la lista de envíos para la gestión de los residuos sólidos peligrosos lleva el correspondiente sello de aprobación del HOGRS que presta los servicios de transporte o de tratamiento y eliminación.

Opciones de disposición final:

- Gestión de residuos higiénica o segura: Después del tratamiento, los residuos pueden ser eliminados en un vertedero registrado por la DIGESA y aprobado por el gobierno del condado, donde los residuos deben ser confinados en un área cercada.
- Cementación: Los restos anatómicos y patológicos, incluidas las partes del cuerpo, pueden ser enterrados en los cementerios locales. Normalmente, primero deben desinfectarse químicamente con formol. El permiso correspondiente está sujeto a la aprobación de las autoridades.

1.2.5 Generación de residuos sólidos

a. Residuos domiciliarios

El valor de la generación per-cápita (GPC) de residuos sólidos domiciliarios es un dato técnico de importancia para diseñar y mejorar la operatividad del sistema de gestión de residuos sólidos. El cuadro 08 muestra los resultados del “Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos en la Provincia de Ica”, dirigido por la ONG DAR en junio del 2004, donde se recogió información de cinco distritos de la provincia de Ica (Ica distrito, Los Aquijes, Parcona, Subtanjalla y La Tinguiña), y del Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos Domiciliarios del Área Urbana del Distrito Ica, junio del 2012, dirigido por el Equipo Técnico – MPI.

Tabla 1

Generación per cápita de los residuos sólidos domiciliarios

Distrito	GPC (Kg/hab/día)
Ica	0.543*
Los Aquijes	0.386
Parcona	0.390
Subtanjalla	0.240
La Tinguña	0.390

Fuente: Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos. ONG DAR. 2004.

1.2.6 Características de los residuos

A. Generación Per cápita

Para obtener la generación per-cápita (GPC), se divide (para cada vivienda muestreada) el peso de las bolsas entre el número de habitantes.

$$GPC = \frac{kg \text{ Recolectados}}{N^{\circ} \text{ de Habitantes}} \quad (1)$$

Dónde:

GPC = Generación per-cápita (kg/hab.día)

Para calcular la generación total de los residuos sólidos se multiplica la generación per cápita (GPC) por población total del distrito.

$$GTRSD = GPC \times \text{Población Urbana} (2)$$

Dónde:

GTRSD = Generación total de residuos sólidos del distrito.

B. Composición

Consiste en la identificación de una cantidad de residuos los diferentes elementos que la componen o constituyen. Con frecuencia, los residuos sólidos municipales se representan por porcentaje de acuerdo a su masa, asimismo, se considera como criterios de la base húmeda, la materia orgánica, cartón, plásticos, escombros de construcciones, metales huesos, etc.

En cuanto a las características de calidad y cantidad de los residuos sólidos, estos pueden varias en gran medida a través del tiempo y el aumento de la población, quienes son los que generan los residuos sólidos. Otros aspectos a considerar es la variación de temperatura, la cantidad de residuos generados por persona de forma diaria, semanal, mensual y anual, de acuerdo a las estaciones del año. En su mayor parte, la responsabilidad recae por el crecimiento de la generación de residuos orgánicos, ya sea por cultura, costumbres, hábitos, factor económico, etc.). Por otro lado, también hay influencia de los proyectos sobre el mejoramiento urbanístico de la población. De acuerdo al análisis realizado, el aumento de generación de residuos olidos orgánicos se ubica en la época de verano y en vacaciones.

Además, la generación de los residuos industriales también debe ser considerados como parte de la generación municipal, las cantidades van a depende de los tipos de empresas industriales se presenten en dicho lugar específico.

Para calcular la composición física de los residuos (%) se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje (\%)} = \frac{(Pi).100}{Wt}$$

Dónde:

Pi = Peso de cada componente en los residuos.

Wt = Peso total de los residuos recolectados en el día.

C. Densidad

Es referido a las características y la humedad que posee los residuos sólidos, es aconsejable que se establezca las medidas reales para tener claro sobre las características de estos residuos. Para ello, los valores que deben mencionar son los siguientes:

- ☐ Densidad suelta: Generalmente se asocia con la densidad en el origen y depende de la composición de los residuos.
- ☐ Densidad transporte: Depende de si el camión es compactador o no y del tipo de residuos transportados.
- ☐ Densidad de residuos dispuesto en relleno: Se debe distinguir entre la densidad recién dispuesta la basura y la densidad después de asentado y estabilizado el sitio.

Para calcular la densidad (S) se utiliza la siguiente fórmula:

$$S = \frac{W}{V} = \frac{W}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 H}$$

Dónde: S = Densidad de los residuos sólidos (kg/m³)

W = Peso de los residuos sólidos

V = Volumen del residuo sólido

H = Altura total del cilindro Algunos autores han determinado las densidades por tipo de residuo sólido, tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 2

Densidad de Residuos Sólidos Urbanos

Residuos Sólidos	Densidades (Kg/m ³)
1. Materia Orgánica	199.64
2. Madera, Follaje	140.64
3. Papel	60.07
4. Plástico PET	136.01
5. Telas, textiles	43.90
6. Caucho, cuero, jebe	237.00
7. Residuos Sanitarios	131.00

Fuente: Castells, X. E. (2012). Tratamiento y valorización energética de residuos. Ediciones Díaz de Santos.

D. Humedad

Es una característica importante para los procesos a que puede ser sometido los residuos. Se determina generalmente tomando una muestra representativa de 1 a 2 kg y se calienta a 80°C durante 24 horas, se pesa y se expresa en base seca o húmeda.

$$Humedad = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

- Si el denominador es Peso inicial, se habla de humedad en base húmeda.

- Si el denominador es Peso final, se habla de humedad en base seca.

E. Poder Calorífico

Se define como la cantidad de calor que puede entregar un cuerpo, se debe diferenciar entre poder calorífico inferior y superior.

El Poder Calorífico Superior (PCS) no considera corrección por humedad y el inferior (PCI) en cambio sí. Se mide en unidades de energía por masa (cal/gr.), (Kcal/kg), (BTU/lb). Se mide utilizando un calorímetro.

- ☐ Poder calorífico superior: Se define suponiendo que todos los elementos de la combustión son tomados a 0 °C y los productos son llevados también a 0 °C después de la combustión, por lo que el vapor de agua se encontrará totalmente condensado (Fernández s.f.).
- ☐ Poder calorífico inferior: considera que el vapor de agua contenido en los gases de la combustión no se condensa, por lo tanto, no hay aporte adicional de calor por condensación del vapor de agua, solo se dispondrá del calor de oxidación del combustible (Fernández s.f.).

La diferencia entre ambos radica básicamente en la energía asociada a la condensación del vapor de agua contenido en los gases de la combustión. Dado que por condiciones medioambientales no se puede alcanzar una temperatura de los gases de 0 °C, donde se aprovecharía el calor de cambio de estado del agua (597 kcal / kg vapor de agua condensador), el PCI tiene un significado mayor para el cálculo del potencial energético de los residuos.

Existen dos formas para el cálculo del PCI: el método analítico y el método práctico. El analítico consiste en sumar los poderes calóricos de los elementos principales que forman la muestra de basura, ponderados por su fracción en peso, descontando de la cantidad de hidrógeno total la que se encuentra ya combinada

con el oxígeno. Para ello se utilizan los datos provistos por el análisis último.

Por ejemplo, si se tiene la composición de un combustible en base seca, el PCI se

puede calcular de la siguiente manera

$$PCI \left(\frac{kcal}{kg} \right) = 8.14C + 29.000 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2.220S - 600H_2O$$

El método práctico consiste en calcular el PCI a partir del valor del PCS hallado mediante el ensayo de poder calórico. Para poder hallar el PCI basta con restarle el calor de cambio de estado del agua. Para ello se precisa conocer la cantidad de H del combustible y la humedad. La ecuación resultante es la siguiente

$$PCI \left(\frac{kcal}{kg} \right) = PCS \left(\frac{kcal}{kg} \right) - 597 (9H + H_2O)$$

1.2.7 Valorización energética

Es el procedimiento que permite el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos, sin poner en peligro la salud humana y el ambiente (Ferrando, Granero, 2011).

La valorización energética constituye el aprovechamiento del poder calorífico que tienen los residuos, cuando estos pueden ser utilizados como combustible (Pala, 2006).

El incremento de residuos generados por el hombre se está convirtiendo en un grave problema para la sociedad. Gran parte de esta cantidad de residuos son reciclados o destinados a su depósito en un vertedero controlado. Pero existe una alternativa a estos dos procesos que cada año aumenta su presencia e implantación a nivel mundial. Se trata de la valorización con recuperación energética de estos residuos.

Al día de hoy los residuos ya contribuyen al mix energético mundial, y lo hacen respetando la jerarquía de residuos que rige en toda la Unión Europea: prevenir, reutilizar, reciclar, y finalmente y como mejor opción que el vertedero, tanto medioambiental como energética, la valorización energética.

1.2.8 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).

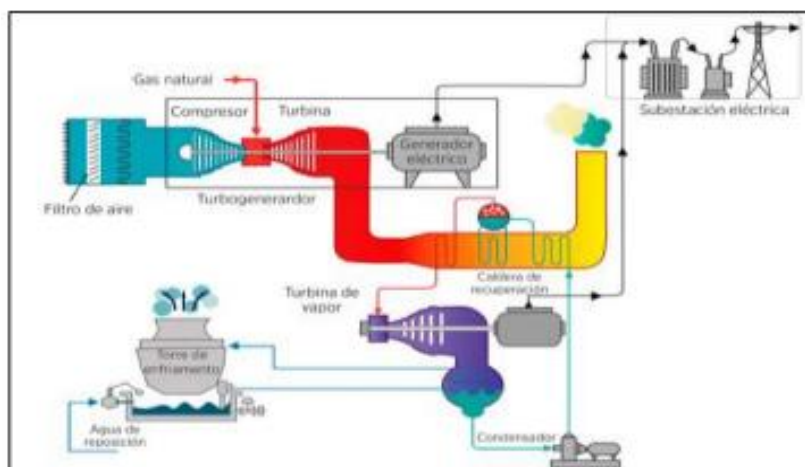


Fig. 1: Generación de energía eléctrica

Fuente: EcuRed, 2020

1.2.9. 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).

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).

1.2.10 Generación de energía a partir de la basura ¿Energía 100% limpia?

La generación de residuos es un problema al cual la sociedad debe hacer frente. Tanto los ciudadanos como las industrias, generamos residuos cada día, y el destino de la mayoría de ellos es el vertedero, con el impacto negativo al medioambiente que implica esta práctica. No obstante, existen otras alternativas de gestión más recomendables y sostenibles, como es la reducción de la producción de residuos, el reciclaje y la reutilización, o la valoración material o energética. Europa establece unos objetivos en este sentido, y plantea la valoración energética de los residuos mediante mecanismos como la incineración directa, la producción y valorización de biogás, o el aprovechamiento de los residuos como combustible. Se trata de convertir la basura en energía útil, pero ¿Es una energía 100% limpia?

Cada día se genera residuos sólidos urbanos (RSU) en las ciudades que son transportados a vertederos. Éstos son enterrados, y con el tiempo terminan generando gas metano que puede llegar a la atmósfera, donde se transforma en dióxido de carbono, principal causante del calentamiento a nivel global. Dicho metano puede ser aprovechado para la generación de energía, evitando el grave perjuicio que supone su liberación a la atmósfera.

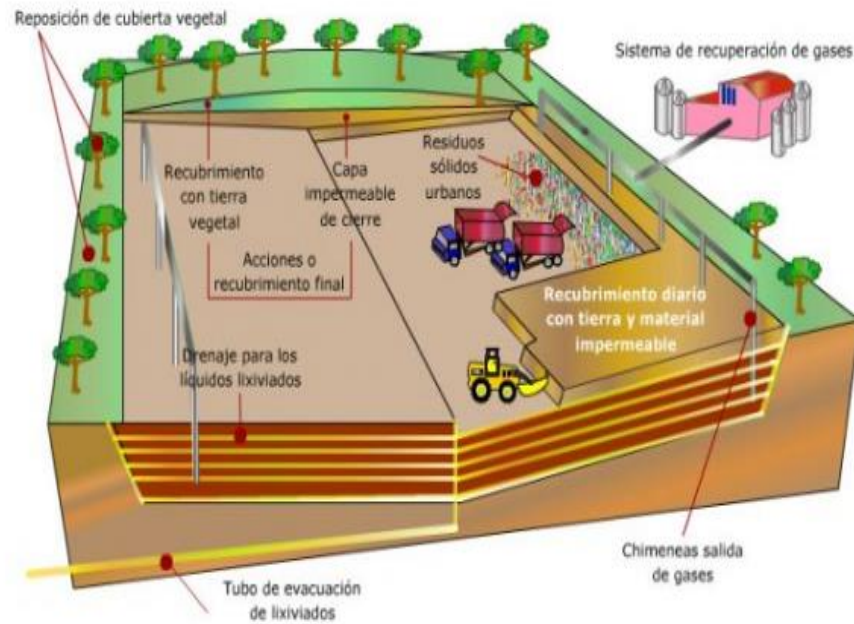


Fig. 2 Vertedero con aprovechamiento del biogás (50% metano) o recuperador e gas para producir energía

1.3 MARCO CONCEPTUAL

Ambiente

Es el conjunto de elementos físicos, químicos y biológicos, de origen natural o antropogénico, que rodean a los seres vivos y determinan sus condiciones de existencia.

Aprovechamiento sostenible de los recursos naturales

La utilización de los recursos naturales en forma tal que no afecte las posibilidades de su utilización en el futuro de manera indefinida; respetando su integridad funcional y la capacidad de carga de los ecosistemas.

Botadero

Lugar inadecuado de disposición final de residuos sólidos en áreas urbanas, rurales o baldías que generan riesgos sanitarios y/o ambientales.

Buenas prácticas ambientales

Se considera Buenas Prácticas Ambientales a quien ejerciendo o habiendo ejercido cualquier actividad económica o de servicio, cumpla con todas las normas ambientales u obligaciones a las que se haya comprometido en sus instrumentos de gestión ambiental

Calidad ambiental

Condición de equilibrio natural que describe el conjunto de procesos geoquímicos, biológicos y físicos, y sus diversas y complejas interacciones, que tienen lugar a través del tiempo, en un determinado espacio geográfico. La calidad ambiental se puede ver impactada, positiva o negativamente, por la acción humana; poniéndose en riesgo la integridad del ambiente, así como la salud de las personas.

Cambio Climático

En sentido general, el cambio climático se refiere a la variación estadística significativa en el estado del clima o en su variabilidad, que persiste por un período extendido de tiempo, y que puede tener su origen en causas naturales o producirse como resultado de la actividad humana.

Ciudadanía ambiental

Es el ejercicio de derechos y deberes ambientales asumidos por los ciudadanos y ciudadanas al tomar conciencia de la responsabilidad que tienen por vivir en un ambiente y sociedad determinados, con los que se identifican y desarrollan sentimientos de pertenencia.

Contaminación ambiental

Acción y estado que resulta de la introducción por el hombre de contaminantes al ambiente por encima de las cantidades y/o concentraciones máximas permitidas tomando en consideración el carácter acumulativo o sinérgico de los contaminantes en el ambiente.

Ecoeficiencia

En términos amplios, la ecoeficiencia está referida a producir más bienes y servicios con menos impacto ambiental.

Educación ambiental

La educación ambiental es un instrumento para lograr la participación ciudadana responsable que es la base fundamental para una adecuada gestión Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024 8 ambiental. Asimismo, la formación que se transmita es parte del sistema educativo, que se presenta en cada paso de la formación de la persona. Cada uno de los niveles de formación, tiene como objetivo generar nuevos conocimientos, ética ambiental, moral, practicas eco amigables, todo ello es necesarios para establecer y contribuir a la sostenibilidad de los recursos naturales.

Efectividad de la materia prima

Es definido como el conjunto de acciones que se realiza para optimizar los recursos, en donde que requiere desligar el avance económico con los impactos ambientales negativos, incentivando el uso eficiente de la energía, creando edificaciones eco amigables, permitiendo que los seres humanos puedan tener acceso rápido de servicios básicos y generando una vida verde.

Empresa comercializadora de Residuos Sólidos

Se refiere a la persona jurídica cuya finalidad está enfocada a la distribución para la venta de residuos en estado sólidos, el cual se quiere aprovechar, llamado reciclaje. Asimismo, esta empresa se encuentra registrado en el Ministerio de Salud.

Empresa Prestadora de Servicios de Residuos Peligrosos

Se refiere a la persona jurídica que brinda diversos servicios en el área de disposición final de los residuos sólidos, dentro de ellos también incluye: actividad de limpieza de las vías públicas, acumulación, movimiento y almacenamiento en un punto de acopio para su debido tratamiento o ser llevados a un relleno sanitario según sea el proceso de disposición.

Fuentes de contaminación

Hace referencia al cuerpo donde se elimina un contaminante, estos cuerpos receptores pueden ser estáticas o móviles.

Gestión ambiental

Es definido como el conjunto de recursos como humano, financiero, infraestructura, tecnología, conocimiento y experiencia para concretar la forma de administrar los recursos naturales con que cuente un determinado territorio. Además, se elaboran las políticas ambientales teniendo claro la visión y misión que tiene la empresa o institución en cuestión dentro de un país.

Gestión de residuos sólidos

Es el conjunto de acciones enfocadas a la definición de pasos como parte de un proceso, asimismo, incluye el análisis, planificación, acción, verificación, prototipo, ejecución. La gestión busca el manejo adecuado de los residuos sólidos en los diferentes niveles, municipal, regional y nacional.

Impacto Ambiental

Son las consecuencias de una serie de acciones, estas consecuencias pueden ser positiva o negativa, no es lo mismo que contaminación ambiental, ya que, este último está enfocada solo en las consecuencias negativas.

Indicador Ambiental

Son valores numéricos que tiene como finalidad, proporcionar información de lo que se puede emitir como gases o contaminantes generados a partir del aprovechamiento de los recursos naturales. El indicador es aquel que tiene impacto significativo, afectando al medio que se habita.

Información Ambiental

Son datos que son parte de una base de datos, no solo son datos escritos sino también visuales. Se tiene información de fuentes como agua, aire, suelo, flora, fauna, materia prima, además, se tiene conocimiento de las actividades que provocan estos impactos ambientales.

Instrumentos de Gestión Ambiental

Son técnicas que se utilizan para poner en acción los compromisos ambientales o también llamados políticas ambientales, considerar como base a la Ley General del Ambiente N°28611, además de normas internacionales acordes con la visión de las instituciones. El

Perú ha establecido su Política Nacional Ambiental direccionada hasta el 2030, esto fue posible mediante el diagnóstico de la realidad sobre el aprovechamiento de los recursos naturales, el cual debe involucrar actores como empresas gubernamentales, sociedad, instituciones públicas y privadas, poblaciones indígenas y sobre todo que es descentralizado.

Manejo de Residuos Sólidos

Es el mecanismo que presenta varias fases, empieza desde la generación de residuos sólidos, luego se presenta la recolección, segregación o separación de estos, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final.

Manejo Integral de Residuos Sólidos

Es la técnica para la disposición final de los residuos sólidos, en donde abarca la forma en como se generan estos residuos, mencionando la ausencia de valor económico de estos, asimismo, involucra no solo como disposición final un relleno sanitario, sino también por diferentes tipos de residuos que tiene que pasar por otros mecanismos para que termine su tiempo de vida útil y no perjudique el medio y la sociedad donde se genere.

Mecanismo de Desarrollo Limpio

Es una forma para que los países en donde se produzca gases de efecto invernadero debido a las industrias, mediante la aplicación de proyectos verdes puedan ganar la reducción certificada de emisiones, siendo equivalente a una tonelada de dióxido de carbono.

Medidas de Mitigación

Es referida a la forma o técnicas que se aplican para minimizar, reducir los impactos ambientales negativos, siendo en su mayor imposible la eliminación de los impactos ambientales, asimismo, dentro de la sostenibilidad ambiental, asocia 3 aspectos, social, ambiental y económico como parte de las medidas de prevención ante las consecuencias de los contaminantes.

Monitoreo ambiental

Involucra la recolección de información, luego su análisis y por último, la conclusión de lo que ha evaluado en un determinado lugar y en el tiempo establecido, su objetivo es establecer si hay presencia de contaminantes y cual es su fuente en el medio.

Organismo de Evaluación y fiscalización Ambiental (OEFA)

Es una de las entidades que presenta el Ministerio del Ambiente, siendo una entidad pública, con amplio conocimiento sobre normativas enfocadas a los indicadores ambientales propuestos por el país. Su objetivo de la entidad es la fiscalización, supervisión, evaluación, control y sanción administrativa, monetaria e incluso penal a la falta de cumplimiento de los dispuesto por el estado.

Participación Ciudadana Ambiental

El principal actor son los ciudadanos que quieren ser parte de la toma de decisiones respecto a temas ambientales, su participación puede ser de forma individual o colectiva, pueden participar de la construcción de las políticas nacionales ambientales, además, en la fiscalización y ejecución de medidas correctivas.

Plan de Manejo de Residuos Sólidos

Es un documento de nivel declaración jurada, dado a conocer por el Ministerio del Ambiente, dando a conocer la forma correcta del manejo de residuos sólidos por cada año, cayendo la responsabilidad en las municipalidades para su aplicación.

Plan Nacional de Acción Ambiental

Es uno de los mecanismos que conforma la gestión ambiental direccionada a l cumplimiento de la Política Nacional Ambiental, en donde plantea el camino para el cumplimiento de las normativas ambientales. Recalca el cumplimiento obligatorio del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.

Política Ambiental

Está conformado por objetivos, visión misión, normas que la entidad ponen como prioridad dentro de sus compromisos ambientales, para el planteamiento de la política se anteponen la gestión ambiental. También está involucrando a la ética ambiental.

Política Nacional del Ambiente

La diferencia entre la política ambiental y la política nacional del ambiente, es que, este ultimo se refiere al conjunto de objetivos, fines, programas que plantea el país, para que cumpla el sector público, privado a nivel local, regional y nacional en materia de la sostenibilidad ambiental y uso energético.

Proyecto de Inversión

Es la planificación que se realiza en un tiempo determinado, queriendo aprovechar los recursos naturales en su totalidad o de forma fraccionada, para la creación, ampliación y mejoramiento de la calidad de las personas, con la finalidad de satisfacer las necesidades de la sociedad, cabe resaltar, que los proyectos de inversión deben de ser aprobados por el Servicio nacional de Certificación ambiental (SENACE).

Reaprovechamiento

Es una técnica utilizada dentro de la administración de residuos sólidos, si bien, el residuo es considerado un material que no tiene valor económico para la persona que ha adquirido el producto inicialmente, sin embargo, estos residuos que ya cumplió con su tiempo de vida útil, pueden ser reciclado, reutilizado e incluso recuperado, para la creación de nuevos productos.,

Reciclaje

Como en el párrafo anterior se menciona, unas de las formas de reaprovechamiento es el reciclaje, en donde se tiene como objetivo, la transformación de estos residuos para crear un nuevo producto, siendo estos residuos generado parte de la materia prima o suministro. Esta técnica permite la disminución de la acumulación de residuos, dando otro uso a partir del reciclaje.

Recuperación

Consiste en la selección de las partes que componen el residuo sólido, para que pueda servir como materia prima y así puedan crear nuevos productos con esta segregación.

Recurso Natural

Todo aquello que se presenta en la naturaleza y que se puede extraer como parte de una materia prima, que al final servirá para la satisfacción de la sociedad, mediante la presentación de un producto y servicio.

Relleño Sanitario

Es una disposición final sanitaria de los residuos sólidos, estas se pueden presentar en la superficie o bajo la tierra, para ambos casos se debe considerar criterios en donde no perjudique o impacte el medio ambiente.

Residuos Sólidos

Son aquellos materiales que han cumplido con su tiempo de vida útil, por lo que, para la mayoría de personas no tiene valor económico, para una parte de la población si lo tiene mediante la reutilización y reciclaje, este último, es donde se genera recursos económicos, estos residuos se pueden presentar en estado sólidos y semisólidos, asimismo, se generan por acciones del ser humano y por eventos de la naturaleza.

Residuos Sólidos de Ámbito de Gestión Municipal

Las autoridades locales tienen responsabilidad sobre los residuos generados en tu jurisdicción, como los residuos domésticos, residuos comerciales y también todos aquellos que no tengan componente de peligrosidad como, por ejemplo, desmonte de construcción.

Residuos Sólidos según su origen (peligrosos)

Los residuos del ámbito de gestión no municipal son aquellos de carácter peligroso y no peligroso, generados en las áreas productivas e instalaciones industriales o especiales. No comprenden aquellos residuos similares a los domiciliarios y comerciales generados por dichas actividades. Estos residuos son regulados, fiscalizados y sancionados por los ministerios u organismos reguladores correspondientes.

Residuos Sólidos Peligrosos

Son residuos sólidos peligrosos aquéllos que por sus características o el manejo al que son o van a ser sometidos representan un riesgo significativo para la salud o el ambiente.

Reutilización

Técnica de reaprovechamiento de residuos sólidos referida a volver a utilizar el bien, artículo o elemento que constituye el residuo sólido para que cumpla el mismo fin para el que fue originalmente elaborado; permitiéndose de esa manera la minimización de la generación de residuos.

Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)

Sistema único y coordinado establecido para la identificación, evaluación, mitigación y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos derivados de acciones humanas expresadas en políticas, planes, programas y proyectos de inversión; potenciando, así mismo, la generación de impactos ambientales positivos derivados de dichas acciones.

Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (SINEFA)

Tiene por finalidad asegurar el cumplimiento de la legislación ambiental por parte de todas las personas naturales o jurídicas, así como supervisar y garantizar que las funciones de evaluación, supervisión, fiscalización y sanción en materia ambiental, a cargo de las diversas entidades del Estado, en el ámbito nacional, regional y local, se realicen de forma independiente, imparcial, ágil y eficiente, de acuerdo con lo dispuesto en la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ley General del Ambiente, en la Política Nacional del Ambiente y demás normas, políticas, planes, estrategias, programas y acciones destinados a coadyuvar a la existencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales, al desarrollo de las actividades productivas y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales que contribuyan a una efectiva gestión y protección del ambiente.

Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP)

Es un sistema administrativo del Estado que a través de un conjunto de principios, métodos, procedimientos y normas técnicas certifica la calidad de los Proyectos de Inversión Pública (PIP).

Vigilancia y Monitoreo Ambiental

La vigilancia y el monitoreo ambiental tiene como fin generar la información que permita orientar la adopción de medidas que aseguren el cumplimiento de los objetivos de la política y normativa ambiental.

Zonas de Atención Prioritaria

Son aquellas que cuenten con centros poblados o poblaciones mayores a 250,000 habitantes o una densidad poblacional por hectárea que justifiquen su atención prioritaria o con presencia de actividades socioeconómicas con influencia significativamente sobre la calidad del aire.

1.4 Planteamiento del problema

1.4.1 Situación problemática

En la provincia de Ica se observa acumulación de residuos sólidos en parques, bancos, rincones, lugares abandonados, plazas, fachadas de casas y espacios abiertos. En consecuencia, según el Ministerio de Protección Ambiental y los organismos de evaluación e inspección, 92 regiones del país han sido clasificadas en alerta roja, y el sistema de manejo de residuos sólidos no ha sido establecido adecuadamente y los servicios de limpieza se han encontrado muy débiles. . La región Ica está incluida en la lista, con la región Ica Tinguíña de la provincia de Ica clasificada como la región más sucia. [22]

La ciudad de Ica genera 686,87 toneladas de desechos sólidos municipales diariamente. Además, algunas zonas de la provincia de Ica no cuentan con rellenos sanitarios. La disposición final de los residuos sólidos es el vertedero. En el mejor de los casos, se aplica un programa de separación desde el principio y sólo una pequeña parte se utiliza para reciclar y luego se redirige a otros productos. No existen puntos de recolección de residuos sólidos en la ciudad y es muy común que los residentes arrojen sus desechos a los ríos u otros lugares donde creen que no los causará. [22]

1.4.1.1 Problema general

¿Como se realiza la generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento de los residuos sólidos de la municipalidad de la Tinguíña, provincia de Ica, 2023?

1.4.1.2 Problemas Específicos

PE1: ¿Como se determina la Producción Per Cápita de Residuos Municipales generados en diferentes estratos en el Distrito de la Tinguíña, provincia de Ica?

PE2: ¿Como se realiza un estudio técnico de una planta de generación eléctricas a base de biogás aprovechando los residuos sólidos urbanos?

PE3: ¿Como se determina el cálculo de la Generación en el día de Energía Eléctrica por modelo de Proceso Térmico?

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Justificación

a. Justificación práctica

El proyecto tiene una base práctica, ya que los residuos sólidos son un recurso renovable y pueden utilizarse como materia prima alternativa a otras fuentes de energía, como los combustibles fósiles, que tienen un impacto significativo en el medio ambiente y la salud.

b. Justificación metodológica

Se justifica el proyecto en lo metodológico, ya que se implementa un conjunto de procedimientos para ayudar a analizar los sistemas de protección eléctrica.

c. Justificación social

La legitimidad social viene dada por el hecho de que las mejoras en la producción de electricidad mejorarán la calidad del suministro eléctrico a todos los residentes del área de estudio.

1.5.2 Importancia

Este estudio es importante porque los resultados obtenidos cuantifican el potencial energético de los residuos sólidos urbanos utilizados para la generación de energía en el distrito de la Tinguña.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Determinar la generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento de los desechos sólidos de la municipalidad de la Tinguña, provincia de Ica, 2023.

1.6.2 Objetivos específicos

OE1: Como se determina la Producción Per Cápita de desechos Municipales generados en diferentes estratos en el Distrito de la Tinguña, provincia de Ica.

OE2: Realizar un estudio técnico de una planta de generación eléctricas a base de biogás aprovechando los residuos sólidos urbanos.

OE3: Determinar el cálculo de la Generación Diaria de Energía Eléctrica por modelo de Proceso Térmico.

1.7 HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1 Hipótesis

1.7.1.1 Hipótesis general:

La energía eléctrica se genera a partir del aprovechamiento de los desechos sólidos de la municipalidad de la Tinguina, provincia de Ica, 2023

1.7.1.2 Hipótesis específicas:

HE1: Si se determina la Producción Per Cápita de Residuos Sólidos Municipales Generados en diferentes estratos para la generación de energía en el Distrito de la Tinguina, provincia de Ica.

HE2: Si se realiza un estudio técnico de una planta de generación eléctricas a base de biogás aprovechando los residuos sólidos urbanos.

HE3: Si se determina el cálculo de la Generación Diaria de Energía Eléctrica por modelo de Proceso Térmico.

1.7.2 Variables

Independiente

Aprovechando los residuos sólidos urbanos

Variable Dependiente

Generación de energía eléctrica

Operacionalización de variables

Variable	Tipo de variable	Operacionalización	Dimensiones	Indicadores	Definición
Aprovechando los residuos sólidos urbanos	Cuantitativa	Reciclar es aprovechar los residuos sólidos para transformarlos en materia prima y fabricar nuevos productos, es volver a utilizar materias o elementos que han sido usados para que vuelvan al ciclo del aprovechamiento, es decir, hacerlos elementos que generen progreso y bienestar para toda la comunidad.	Composición físico - química de los residuos sólidos	Estimulación de la composición química y física Generación de basura por ton/día	1.- Los residuos sólidos urbanos son todos aquellos residuos, desechos o desperdicios generados en el entorno urbano.
Generación de energía eléctrica	Cuantitativa	Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas.	Proceso térmico Generaciones eléctricas a base de biogás Obtención de energía por Sistema de Oxidación	Producción de energía Descomposición de la materia orgánica Producción de biogás	Consiste en transformar alguna clase de energía (química, cinética, térmica, lumínica, nuclear, solar entre otras), en energía eléctrica

II ESTRATEGIA METODOLÓGICA.

2.1 TIPO, NIVEL Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN [22]:

2.1.1 Tipo de Investigación

Teniendo en cuenta el tipo y desarrollo del proyecto, el presente trabajo es de investigación aplicada tecnológica, ya que se empleó el desarrollo de la ciencia y la tecnología para resolver un problema

El tipo de esta investigación es aplicada, ya que se ejecutaron los conocimientos que optimizaron el uso de los residuos sólidos para la generación de la electricidad

2.1.2 Nivel de Investigación

Debido a la profundidad del estudio, es de nivel descriptivo, ya que tuvo como objetivo mejorar la protección que asegure la continuidad de los servicios eléctricos.

2.1.3 Diseño de Investigación

Debido a la forma en que se realizó el estudio, se presentó como un modelo existente. Dado que no se puede cambiar el comportamiento de un problema cambiando el valor de la variable, se observa el problema a medida que ocurre y se documenta los resultados. Este estudio no experimental utilizó una metodología de investigación correlacional ya que relaciona dos variables, una dependiente (generación de electricidad IP) y otra independiente (aprovechamiento de los residuos sólidos).

2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

2.2.1 Población:

Son todas las viviendas del distrito de la Tinguina que arrojan un total de 21.30 TM/día

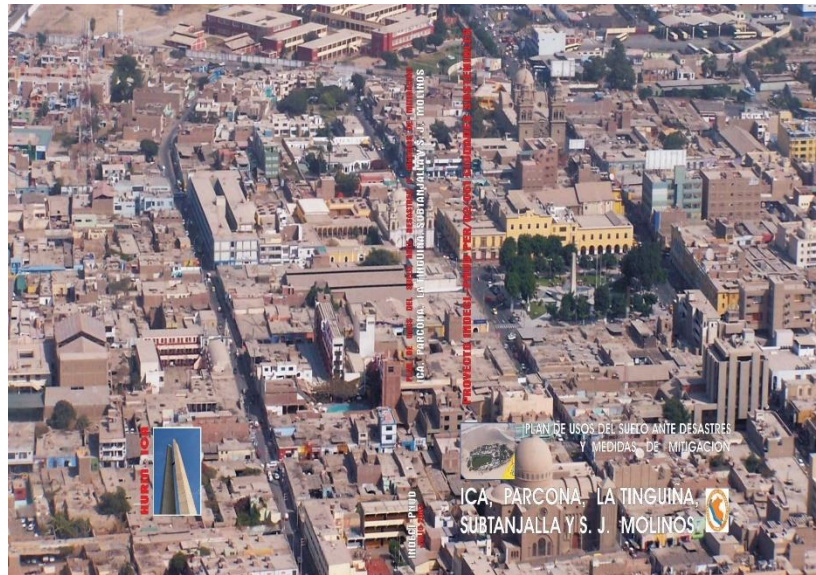


Fig. 3 Distrito de La Tinguiña

Tabla 3

Capital, superficie y altitud del distrito de la Tinguiña

Distrito	Capital	Superficie (Km2)	Densidad (hab/km2)	Altitud (msnm)
La Tinguiña	La Tinguiña	98.34	306.7	432

Tabla 4

Población total del distrito de la Tinguiña

Distrito	Total	Grupo de edad		
		0 - 14	15 - 64	65 y mas
La Tinguiña	35879	9964	19875	1963

2.2.2 Muestra. -

Son todas las viviendas del distrito de la Tinguiña que arrojan un total de 20.00 TM/día



2.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

- ☐ Distribución del muestreo: La distribución general del muestreo se realizó dividiendo el área en cada zona y el número aproximado de muestras.
- ☐ Muestreo: Antes del muestreo se recolecto información general sobre los usuarios del sitio de muestreo (generadores de residuos), así como recomendaciones para mejorar los servicios de recepción y limpieza, almacenamiento de residuos y métodos de recolección.
- ☐ Todas las bolsas recolectadas se pesaron diariamente el día del muestreo (los desechos recolectados el primer día del muestreo se designaron para su eliminación sin considerar los datos para el análisis). Este peso (W) representa la cantidad total de basura generada por día por todos los hogares.
- ☐ Divida el peso total de la bolsa (W) por el número total de personas (Nt) para calcular el promedio diario por persona (kg/persona/día) Hogares.

$$\text{Generación per cápita diaria de residuos (gpc)} = \frac{\text{Peso Total de Residuos (Wt)}}{\text{Número Total de Personas (Nt)}}$$

- ☐ Para encontrar la producción total por día, se multiplica la producción por persona por la población. Cantidad total de residuos generados por día = GPC x Nt (kg/día)
- ☐ Se preparó un contenedor de 100 litros como volumen estándar del vertedero para calcular la cantidad de residuos. También se encuentro disponibles básculas digitales.
- ☐ Se peso el recipiente vacío (W1) y se encontró su volumen (V). Datos tenidos en cuenta durante el envío: altura (h) y diámetro (d).
El volumen de este contenedor es:
$$\text{Volumen (V)} = 0,7854 \times d^2 \times h$$
- ☐ El residuo usado para la descomposición se colocó en un recipiente no presurizado y se agitó para llenar el espacio vacío en el recipiente. Fue útil mantener los contenedores llenos de desechos para evitar un conteo adicional.
- ☐ Midió el peso del contenedor lleno (W2) y calculo el peso de los residuos (W) a partir de la diferencia.
- ☐ La densidad de los residuos se determinó dividiendo el peso de los residuos (W) por el volumen del contenedor (V).

$$\text{Densidad } D \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso del Residuo } W \text{ (Kg)}}{\text{Volumen de Residuo } V \text{ (m}^3\text{)}}$$

$$\text{Volumen de Residuo } V \text{ (m}^3\text{)}$$

- ☐ Se utilizó una prueba de un día para realizar esta tarea. Se desechó los desechos en una bolsa de plástico grande o embolsada para evitar que se mezclen con la tierra.
- ☐ La bolsa se rompió y la basura se derramó formando un montón. Para la homogeneización de las muestras, los residuos más grandes se cortaron en tamaños manejables de 15 cm o menos.
- ☐ Se midió el peso del contenedor lleno (W2) y calculo el peso de los residuos (W) a partir de la diferencia.
- ☐ La densidad de los residuos se determinó dividiendo el peso de los residuos (W) por el volumen del contenedor (V).
- ☐ Divida la pila en cuatro partes (método de cuartos) y se seleccionó las dos partes opuestas para formar una pila nueva y más pequeña. La pequeña muestra se mezcló y se dividió nuevamente en cuatro partes, y luego se seleccionaron las dos partes opuestas para crear otra pequeña muestra. Este proceso se repitió hasta que se recogieron menos de 50 kg de residuos.
- ☐ Los componentes finales del montón se clasificaron en papel y cartón, madera y hojas, residuos de alimentos, plástico, metal, vidrio y otros (caucho, cuero, tierra, etc.).
- ☐ Los componentes se organizan en pequeños contenedores.
- ☐ Antes de comenzar la clasificación, se midió el peso de los pequeños envases vacíos mediante una báscula digital.
- ☐ Después de la clasificación, se midió el peso del recipiente que contenía los diferentes componentes y se calculó de forma diferente el peso de cada componente.
- ☐ La proporción de cada componente se calculó considerando el peso total de los residuos recolectados en un día (W) y el peso de cada componente (Pi).

$$\text{Porcentaje (\%)} = \frac{P_i}{W_i} \times 100$$

$$W_i$$

- ☐ Este procedimiento se repitió durante 7 días de muestreo de residuos. Tenga en cuenta que las muestras se consideraron inutilizables durante los primeros 8 días de muestreo y se excluyeron el primer día.
- ☐ Para determinar el porcentaje promedio de cada componente, se creó un promedio simple sumando los porcentajes de cada componente para todos los días de la semana y dividiendo por los siete días de la semana.

2.4 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Se utilizó registros de datos, hojas de datos, catálogos, manuales y diversos datos de referencia como herramientas para compilar especificaciones variables y, en segundo lugar, junto con una guía de preguntas abierta para los profesionales del diseño.

2.5 TÉCNICA DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

El análisis de los datos recopilados utilizó el análisis y síntesis de información, cuadros, tablas y presentaciones de planes, y la entrevista se llevó a cabo interpretando la información y comparándola con las teorías existentes.

III.- RESULTADOS

3.1 CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS

CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS 1

HE1: Si se determina la Producción Per Cápita de Residuos Sólidos Municipales Generados en diferentes estratos para la generación de energía en el Distrito de la Tinguña, provincia de Ica.

Composición físico-química de los residuos. - En el caso de no poder tomar muestras de los residuos para analizarlas en un laboratorio, puede calcularse de forma aproximada la composición química de los residuos utilizando datos de composiciones físicas de los mismos [23]. A modo de ejemplo se muestra en la siguiente Tabla datos de composiciones físicas de residuos, correspondientes al distrito de la Tinguña.

Tabla 5

Estimación de la composición química de los residuos para la Medición 1:

Componente	Composición Física (% peso, base seca)	
	Medición 1	Medición 2
Materia orgánica	60%	58%
Plásticos	18%	17%
Cartón	7%	13%
Papel	4%	0%
Textiles	4%	0%
Vidrio	3%	8%
Metales	0%	3%
Otros	4%	1%

Para poder calcular de forma estimada la composición química de los residuos, se utilizan tablas [21] que determinan el porcentaje de C (carbono), H (hidrógeno), O (oxígeno), N (nitrógeno), S (azufre) y cenizas, de los componentes típicos de los residuos. A modo de ejemplo se muestra la estimación de la composición química de los residuos para la Medición 1:

Tabla 6

Composición química de los residuos

Componente	Comp. Física (% peso, base seca)	Análisis último del componente (% peso, base seca)					
		C	H	O	N	S	Cenizas
Materia orgánica	60%	48	6.4	37.6	2.6	0.4	5
Plásticos	18%	60	7.2	22.8			10
Cartón	7%	44	5.9	44.6	0.3	0.2	5
Papel	4%	43.5	6	44	0.3	0.2	6
Textiles	4%	55	6.6	31.2	4.6	0.2	2.5
Vidrio	3%	0.5	0.1	0.4			98.9
Metales	0%	4.5	0.6	4.3			90.5
Otros	4%	26.3	3	2	0.5	0.2	68
Composición química MSW		47.68	6.18	32.88	1.8	0.28	11.18
Humedad (%peso)		59 %					

CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS 2

HE2: Si se realiza un estudio técnico de una planta de generación eléctricas a base de biogás aprovechando los residuos sólidos urbanos.

Entre las diferentes formas de producción de energía, en este proyecto, se investiga la obtención de energía eléctrica a partir de la generación de biogás que se adquiere de la recolección y fermentación de los residuos urbanos. En base al notable crecimiento demográfico de muchas ciudades, el incremento de los residuos sólidos urbanos se ha transformado en una de las principales problemáticas ambientales en la actualidad.

En el distrito de La Tinguina, el uso de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables es inexistente. Por otro lado, en cuanto a la existencia de residuos urbanos, la metodología de recolección diferenciada y su posterior disposición y aprovechamiento, la generación de energía no ha podido ser implementada con éxito, generando un problema sanitario y ecológico de relevancia. En las condiciones en que se plantea la realidad urbana de la ciudad, la generación de energía eléctrica desde el biogás es posible y necesaria.

El proyecto de investigación presentado, tratará de evaluar la factibilidad de generación de energía eléctrica desde el Biogás obtenido por el tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos.

El proceso de Obtención de Biogás

La digestión anaeróbica consiste en la descomposición de la materia orgánica por medio de microorganismos en ausencia de oxígeno, que, como producto de tal degradación, generan metano, dióxido de carbono y otros compuestos.

Con esta metodología, en condiciones adecuadas, puede obtenerse un gas con alto contenido de metano y un sólido residual que puede ser utilizado como fertilizante agrícola.

La conversión de materia orgánica en metano se describe de la manera siguiente:

Materia orgánica + H₂O → CH₄ + CO₂ + Digerido + NH₃ + H₂S + Calor

En la digestión anaeróbica intervienen cuatro etapas del metabolismo bacteriano, como se muestra de manera resumida en la Fig , que conlleva la producción de biogás.

- 1) Hidrólisis: convierte los biopolímeros complejos en moléculas más sencillas, por acción de bacterias hidrolíticas anaeróbicas.
- 2) Acidogénesis: Las bacterias hidrolíticas son convertidas en ácidos orgánicos de cadena corta, alcoholes y diversos gases
En estas dos primeras etapas se alcanza una producción de biogás de entre un 20 y 25%.
anaerobias
- 3) Acetogénesis: los productos finales del proceso de acidogénesis se convierten en acetato por medio de la deshidrogenación acetogénica.
- 4) Metanogénesis: el acetato producido a partir de los gases hidrógeno y dióxido de carbono, se convierten en metano por medio de bacterias metanogénicas.

Los microorganismos que intervienen en este proceso requieren de un medio con pH cercano a la neutralidad para una actividad óptima. Estas condiciones deben ser monitoreadas y ajustadas convenientemente en las diversas etapas de la degradación.

Selección del biodigestor

Para la elección se evaluaron diversos trabajos concretos, y estudios de laboratorio, cuyas investigaciones estén sustentadas por la experimentación práctica. Se seleccionó así un estudio realizado por el departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Cádiz, en el cual las condiciones ambientales analizadas, y de la materia prima a utilizar se asemejan a la realidad de nuestra ciudad. Concluyendo que el uso de un reactor anaeróbico discontinuo que funcione en un rango de temperaturas termofílicas disminuye el tiempo de permanencia del residuo dentro del reactor, acelerando así la producción de biogás.

Además, este proceso de obtención de biogás genera ciertas ventajas económicas, ya que en un único reactor se lleva a cabo el proceso completo con un alto rendimiento de conversión, una obtención de un residuo digerido con propiedades fertilizantes y una disminución notable del tiempo necesario para el arranque y la estabilización del digestor.

El tiempo de retención hidráulico debe contemplarse para la correcta selección del tamaño del reactor y las fases diarias de carga y descarga en el reactor semicontinuo. El tiempo de retención hidráulico seleccionado es de 15 días, tiempo necesario para la degradación biológica anaeróbica completa. El proceso optado se realizará en un digestor de alto contenido de sólidos a temperatura promedio de 55 °C, asegurando así una máxima producción de biogás y un alto nivel de destrucción de patógenos. Esta digestión seca, permite una reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) de entre 70 y 90 % generando así un biogás que contendrá un porcentaje de metano de entre 50 y 70 %.

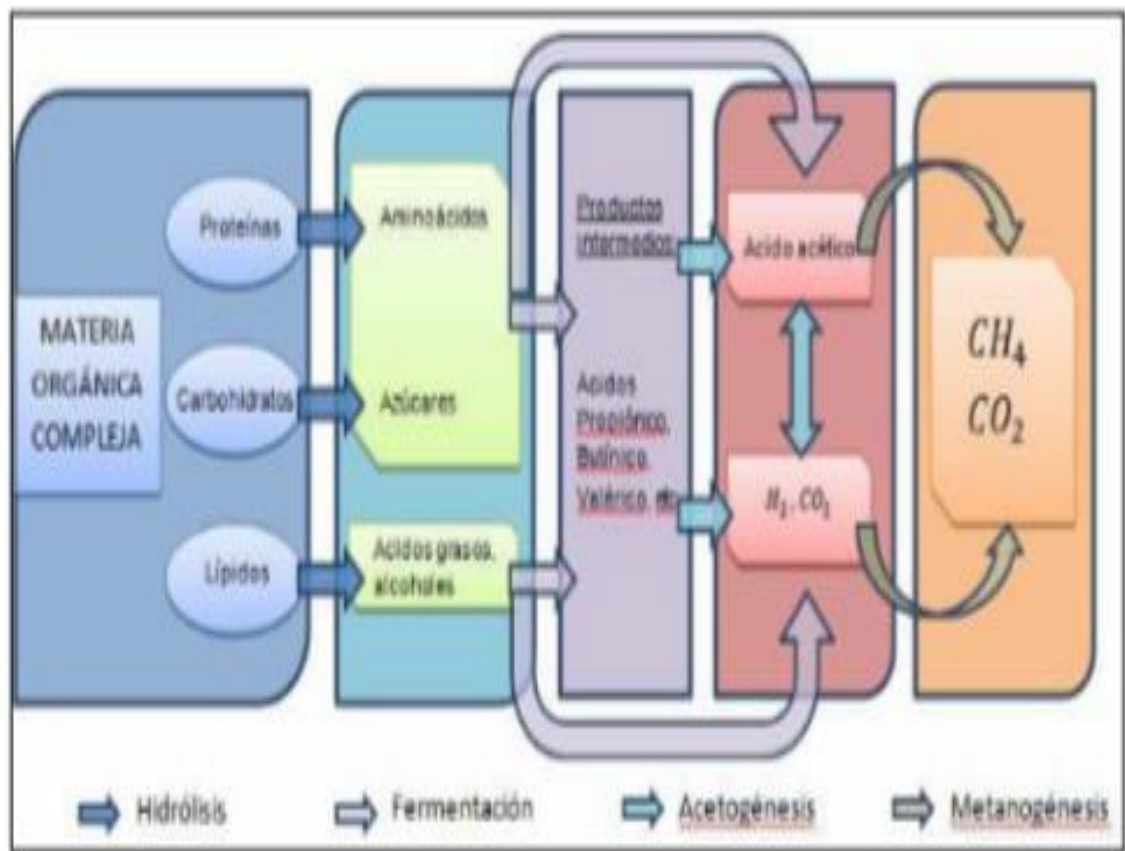


Fig.5. Esquema síntesis del proceso de obtención del biogás.

Cálculo de la producción de gas para un reactor discontinuo

En el distrito de La Tinguña, se generan en promedio 20 t. de basura por día, de la cual, aproximadamente un 40% está constituida por desechos de materia orgánica.

Para el proyecto en estudio, se evaluará la conversión de estos desechos orgánicos en un reactor tanque discontinuo que se alimentará con RSU, en una concentración del 20 % de los sólidos totales (ST).

La búsqueda de información y los relevamientos realizados en la ciudad por empresas y organismos relacionados al sistema de tratamiento de residuos, permite estimar que la composición de la fracción orgánica coincide con la evaluada en diversas ciudades estudiadas, en las cuales, el nivel socioeconómico de la población pudiera ser comparado a la de la ciudad de San Francisco. En función de esto se considera que la fracción orgánica de los RSU depositados en las instalaciones del basural y relleno sanitario de la ciudad puede describirse con suficiente precisión en estimaciones porcentuales según la tabla I. Los parámetros de análisis de laboratorio de la materia orgánica en estado primario, previo a su dilución, arroja los siguientes resultados según la tabla II (1) y la tabla III

Tabla 7

Valor % de RSU

Elementos	Porcentaje
Papel y cartón	15 a 40%
Plásticos	2 a 6%
Metales	1 a 5%
Vidrio	1 a 10%
Caucho y cuero	1 a 5%
Inertes (tierra y arena)	1 a 30%

Tabla 8

Val. Característicos

Materia prima	
Parámetro	Valor
Densidad	328 kg/m ³
Humedad	52.6%
Sólidos totales	47.4%
Materia orgánica	69.3%

Tabla 9

Parámetros de RSU

RSU- 20% de concentración	
Parámetro	Valor
Sol. Totales	819 g/kg

Sol. Volátiles	433.5g/kg
Sol. Tot. Soluble	13.1 g/kg
Sol. Vol. Soluble	12.1 g/kg
DQO	57.8 g/l
COD	52.2 g/l
Carbono	10.4%

La cantidad de metano producida requiere de un cálculo en el que intervienen parámetros propios del tipo de residuo, porcentaje de dilución y temperatura de reacción. Se expondrá a continuación el cálculo analítico de producción de biogás considerando óptimas condiciones de trabajo, que generan resultados ideales, y que se verán afectados, en la práctica, por diversos factores que intervienen en el funcionamiento real. En virtud del objetivo de la presente investigación, el análisis posterior no acredita condiciones reales de investigación, sino un cálculo aproximado del combustible disponible para la generación eficiente de energía. Dada la producción diaria de la ciudad, promediada en 50.000 kg, del cual se considera una producción de residuos orgánicos es el 40 % del total de la basura, se tiene que:

$$20000kg \times 0.4 = 8000 \frac{Kg \text{ org.}}{dia}$$

Siendo la concentración necesaria para la alimentación del 20% de orgánico dentro del reactor, y los sólidos totales (S.T.) = 819 g/kg, deberá diluirse el residuo con agua de la siguiente manera:

$$Q_{alimentacion} = 8000 \frac{kg}{dia} \times \frac{100}{20} = 40000 \frac{kg}{dia}$$

Los sólidos totales obtenidos dentro del reactor diariamente luego de su alimentación se calculan de la siguiente manera

$$ST = 819 \frac{g}{kg} \times 40000 \frac{kg}{dia} \times \frac{kg}{1000g} = 32760 \frac{kg ST}{dia}$$

Se considera el porcentaje de sólidos volátiles como el 52,93 % de los ST dada la composición inicial del RSU, para lo cual:

$$SV = 0.5293 \times 32760 \frac{kg}{dia} = 17348.56 \frac{kg}{dia}$$

Dados los resultados del estudio tomado como comparativo para el proceso de degradación en las condiciones planteadas. Se considera un porcentaje de reducción de los sólidos volátiles (SV) del 79,4% dado los parámetros medidos en laboratorio:

$$\% \text{reduccion} = 16810.56 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} \times 0.794 = 5407.58 \frac{\text{kg SV}}{\text{dia}}$$

El proceso de conversión anaeróbica genera una conversión en metano que se estima habitualmente en 0,15 m³/kg SV, por lo cual:

$$Q \text{ Biogas} = 5407.58 \frac{\text{kg SV}}{\text{dia}} \times 0.15 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg SV}} = 811.13 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

El porcentaje de metano promedio obtenido para la generación de biogás en este tipo de reactores es de aproximadamente 60% con lo cual:

$$811.13 \frac{\text{m}^3 \text{Biogas}}{\text{dia}} \times 0.6\% = 488 \frac{\text{m}^3 \text{CH}_4}{\text{dia}}$$

Este volumen de metano producido por día, considerando su poder calorífico por metro cúbico de metano, a presión atmosférica y 25°C, genera una energía calórica de:

$$488 \frac{\text{m}^3 \text{CH}_4}{\text{dia}} \times 8709.4 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{CH}_4} = 42\,38709.95 \frac{\text{Kcal}}{\text{dia}}$$

La obtención de energía disponible por hora es entonces la equivalente a 196612.91 kcal/h. Este valor pudiera ser convertido de manera ideal, a un valor de potencia disponible de aproximadamente 1.307 kJ / s. Esta potencia, lejos de ser la que se obtendrá de manera real, proporciona una base teórica para determinar la viabilidad del estudio.

CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS 3

HE3: Si se determina el cálculo de la Generación Diaria de Energía Eléctrica por modelo de Proceso Térmico.

Poder calorífico de los residuos. - Es necesario diferenciar en un combustible el poder calorífico inferior (pci) y el poder calorífico superior (pcs). La diferencia entre ambos radica básicamente en la energía asociada a la condensación del vapor de agua contenido en los gases de la combustión.

Dado que por condiciones medioambientales no se puede alcanzar una temperatura de los gases de 0 °C, donde se aprovecharía el calor de cambio de estado del agua (597 kcal / kg vapor de agua condensador), el pci tiene un significado mayor para el cálculo del potencial energético de los residuos [22].

Existen dos formas para el cálculo del pci: el método analítico y el método práctico.

El analítico consiste en sumar los poderes calóricos de los elementos principales que forman la muestra de basura, ponderados por su fracción en peso, descontando de la cantidad de hidrógeno total la que se encuentra ya combinada con el oxígeno. Para ello se utilizan los datos provistos por el análisis último. Por ejemplo, si se tiene la composición de un combustible en base seca, el pci se puede calcular de la siguiente manera [23]:

$$PCI \left[\frac{Kcal}{Kg} \right] = 8.140.C + 29.000. \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2 - .220.S - 600.H_2O$$

El método práctico consiste en calcular el pci a partir del valor del pcs hallado mediante el ensayo de poder calorífico. Para poder hallar el pci basta con restarle el calor de cambio de estado del agua. Para ello se precisa conocer la cantidad de H del combustible (se obtiene del análisis último) y la humedad (análisis próximo). La ecuación resultante es la siguiente [22]:

$$PCI \left[\frac{Kcal}{Kg} \right] = PCS \left[\frac{Kcal}{Kg} \right] - 597. (9.H + H_2O)$$

Típicamente un valor aproximado del pci de los RSU es de 9-11 MJ/kg [23].

Potencial de generación. - De modo de aprovechar al máximo el potencial energético de los residuos, resulta conveniente aplicar la estrategia que se denomina “co-generación” en donde una parte de la energía de los residuos se aprovecha como energía térmica (generalmente a través de la generación de vapor para un proceso industrial o agua caliente para un proceso industrial o para calefacción de viviendas) y otra parte se convierte en energía eléctrica. En la Figura III, se muestran las fracciones de conversión aproximadas que pueden obtenerse en un sistema de cogeneración.

Observamos que un 50% de la energía química puede convertirse en energía térmica,

un 30% en energía eléctrica y el 20% restante se pierde.

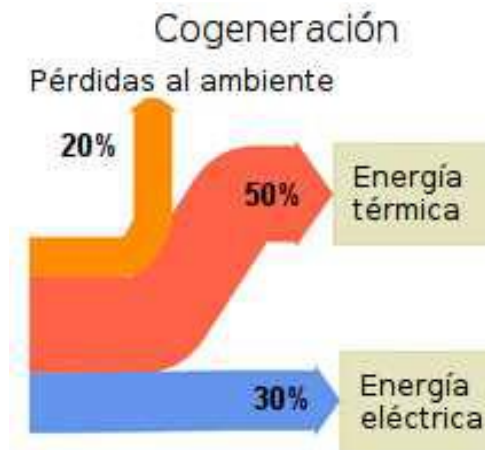


Fig. 6 Diagrama energético de un ciclo de co-generación típico

Por lo tanto, para un distrito como La Tinguña con un ageneracion de MSW del orden de 20 Ton/dia se tendría un potencial de generación de:

$$\frac{20.000kg}{dia} \cdot \frac{9.25 Mj}{kg} \cdot \frac{1 dia}{86.400 seg} \cdot 0.50 = 1.07 \text{ MW termico}$$

$$\frac{20.000kg}{dia} \cdot \frac{9.25 Mj}{kg} \cdot \frac{1 dia}{86.400 seg} \cdot 0.30 = 0.64 \text{ MW termico}$$

$$\frac{20.000kg}{dia} \cdot \frac{9.25 Mj}{kg} \cdot \frac{1 dia}{86.400 seg} \cdot 0.20' = 0.42 \text{ MW termico}$$

3. Tecnologías de recuperación de la energía de los residuos (WTE). - Para el aprovechamiento de los residuos sólidos, se puede dividir en dos grupos, el primero, debido a una acción térmica y el segundo, por acciones biológicas. Todo ello será explicado a continuación.

3.1 Conversión Biológica. – Este método consiste en la descomposición de los residuos orgánicos mediante la digestión en ausencia de aire, es decir anaeróbica, aquí los protagonistas para que se pueda realizar dicha conversión son los microorganismos.

Este proceso ocurre en rellenos sanitarios (algunos controlados y otros no) donde se genera una mezcla de gases, conocida como biogás, cuyos dos componentes principales son el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂) [24].

3.2 Conversión Térmica. – Este método consiste en el uso de la energía térmica para generar gas, líquidos y sólidos a partir de los residuos sólidos, aquí se aprovecha los residuos inorgánicos.

Además, la forma en que se puede aplicar la conversión térmica es: por combustión, mediante la gasificación y por pirólisis. Para el caso de la combustión y la gasificación, se caracteriza por una reacción química en donde se produce por liberación exotérmica, es decir, se emite la energía directamente. Específicamente, en el caso de la gasificación, el objetivo es obtener gases por concentración de calor, el cual será parte de los elementos para realizar posteriormente combustión. En el caso del pirólisis, la reacción no se libera, por ende, es endotérmica, al igual que el proceso de gasificación, también se obtiene gases que posteriormente serán utilizados como parte de los elementos para lograr la combustión.

Para la presentación de la siguiente figura, se observa los dos grupos de conversión de aprovechamiento de residuos sólidos para la generación de energía.

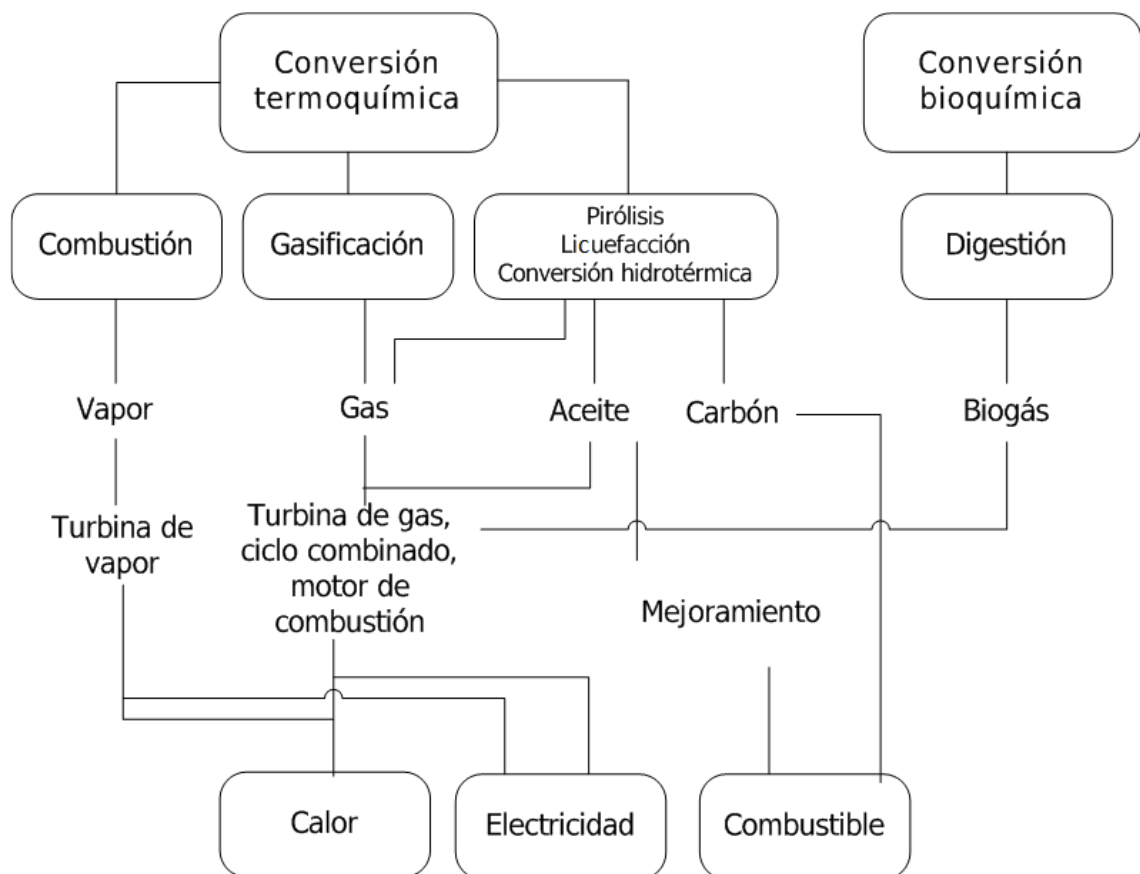


Fig.7 Conversión de residuos a sus formas secundarias de energía.

Caso de estudio. - El objetivo principal del proyecto realizado [22] fue determinar la viabilidad técnica y financiera de un emprendimiento de generación de energía a partir de

residuos, como también la realización un diseño preliminar de un proyecto de estas características. Se comenzó considerando los residuos municipales ubicados en el vertedero municipal de La Tinguña, y a partir de sus propiedades físico-químicas se seleccionó la tecnología a utilizar y los insumos y equipos necesarios para el funcionamiento. Además, se analizaron y dimensionaron los sistemas de la planta, como ser los hidráulicos, neumáticos y eléctricos. Por otro lado, se proyectó una disposición tipo de la planta, teniendo en cuenta los equipos necesarios, sus dimensiones y la operación de la planta.

Residuos considerados. - El proyecto planteado pretende utilizar los residuos municipales del Distrito de La Tinguña que actualmente se disponen en un vertedero de cielo abierto. Para la presente investigación, se dispuso de 20 toneladas de residuos por día.

Por motivo que no se tuvo acceso a la toma de muestra de los residuos sólidos, y tampoco el estudio químico que correspondía, se realizó las estimaciones del poder calorífico y de la estructura química de los residuos municipales generados en la Tinguña. De acuerdo al análisis se obtuvo un combustible con un poder calorífico de 9,25 MJ/kg y una humedad de 59 % [22].

Locación de la planta. –

Tecnología seleccionada. –

Mediante la disposición de diferentes fuentes de información y todos los datos recaudados, se tomó la decisión de realizar la conversión de residuos sólidos municipales mediante el Sistema de Oxidación por Batch (Batch Oxidation System -cBOS™), constituye un método simple, debido a las ventajas y desventajas analizadas, es la más adecuada para este estudio. Cabe mencionar que no se ha considerado la segregación de residuos, siendo la primera fase recomendada de aplicación, la generación de combustión mediante el sistema de caldera de aceite térmico y Ciclo de Rankine de fluido Orgánico (ORC). En la siguiente figura se presenta el proceso de funcionamiento de la planta mediante un diagrama de los pasos realizados.

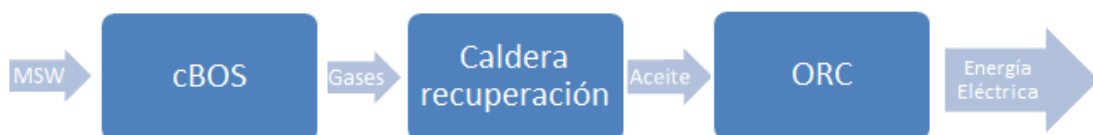


Fig. 8 Esquema de funcionamiento de la Planta.

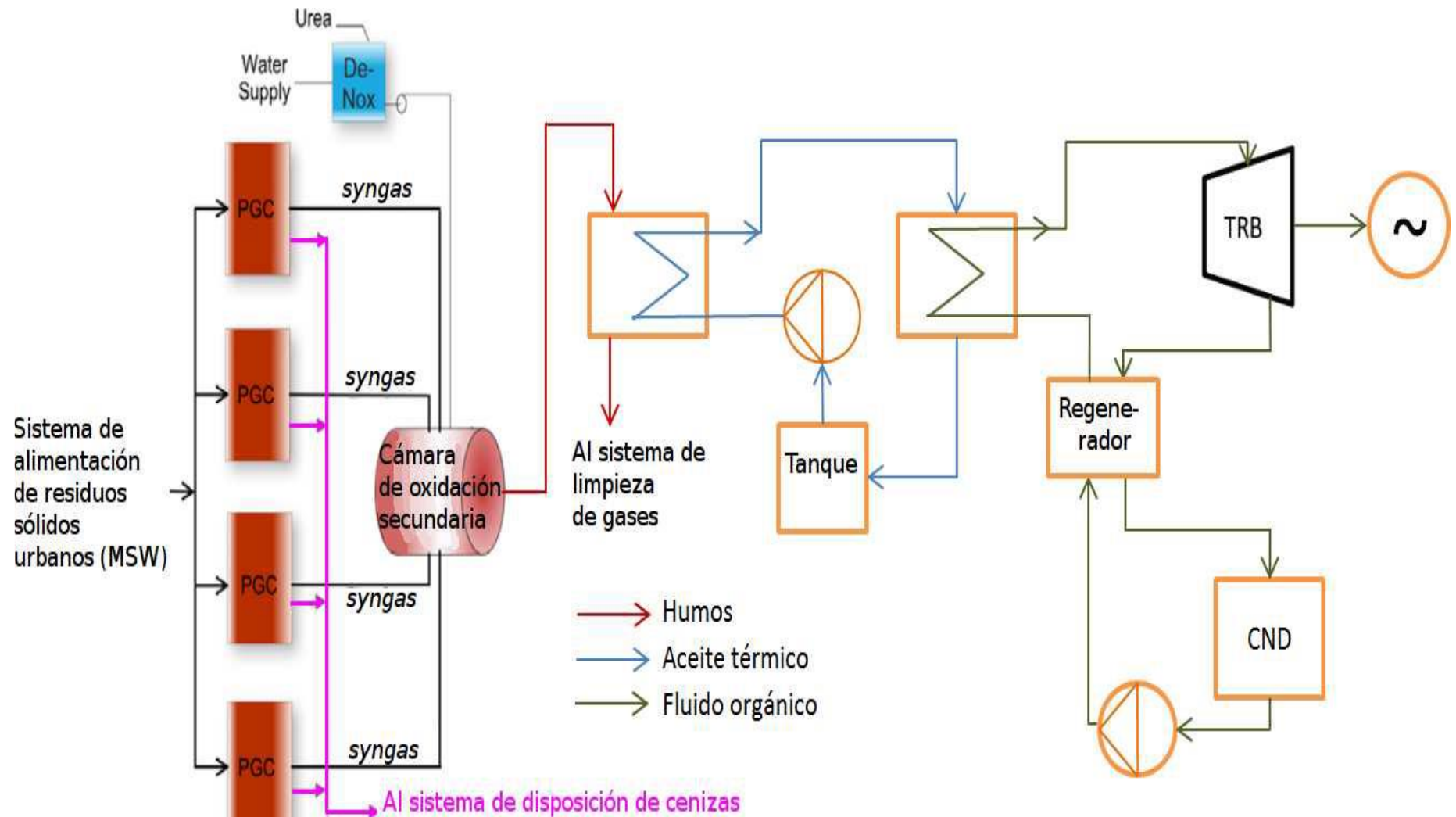


Fig. 9 Sistema de Oxidación por Batch

En una primera instancia los residuos (MSW) ingresan al sistema de combustión (cBOS) donde se generan gases calientes. Estos gases son enviados a una caldera de recuperación, donde ceden su energía a un aceite térmico. Este aceite es enviado al Ciclo Orgánico que calienta un fluido orgánico que luego se expande en una turbina conectada a un generador, obteniéndose así la energía eléctrica.

El procedimiento cBOS (Continuous Batch Oxidation System). Este proceso se divide en dos partes, la primera, en donde las cámaras primarias realizan en proceso por grupo, por otro lado, la cámara secundaria lo realiza de forma continua. Los residuos sólidos municipales serán dispuestos en las cámaras primarias de gasificación, con un desajuste en el tiempo de 6 horas entre cámara y cámara. Los residuos sufren alteraciones mediante procesos químicos y físicos con una mínima proporción de oxígeno, por lo que, se genera un gas de síntesis, llamado syngas. Al finalizar este procedimiento, empieza la fase de enfriamiento para que se descargue en seguida las cenizas. Cada cámara dentro de este proceso está asegurada con un sello hidráulico, teniendo dos entradas para la ubicación y remoción de la ceniza, además de un ventilador de aire primario y dos de aire secundario, dos abrasadores de gasoil, cuatro orificios para el rozamiento de agua para el apaciguamiento de las cenizas y una válvula que sirve para separar las cámaras primarias de las secundarias.

En la presente figura se aprecia al frente las cámaras primarias, al fondo las cámaras secundarias y a la parte izquierda el sistema de limpieza.



Figura 9. Sistema cBOS

Una vez que se genera síntesis de gas, pasa a las cámaras secundarias, en donde genera una combustión y es oxidado mediante la inyección de aire obtenido del ambiente. La cantidad de humos recirculados es de un 15% lo cual apoya a la reducción de N_2O (óxido nitroso).

Gracias al desfase temporal en la operación de las cámaras primarias, el suministra a la cámara secundaria es de características uniformes [22]. En las cámaras secundarias de este proceso, se inyecta una proporción de urea para el tratamiento de N_2O y la disminución de la reacción de oxidación del gas sintetizado, siendo esta última exotérmica, permitiendo que alcance temperaturas mínimas según los reglamentos del país de Escocia, siendo en ese país 1.1^0 C para los tipos de residuos peligrosos, para los residuos no peligrosos es 850^0C . En el caso de Uruguay, no hay un reglamento en donde indique a que temperatura mínima debería de quemarse los residuos sólidos urbanos. Como plan de contingencia, se plantea que, en caso no alcance la temperatura, se tiene dos quemadores auxiliares a gasoil, de esta forma, se garantiza la generación de combustión, esto también se puede utilizar para los arranques. La concentración de oxígeno en la cámara y la temperatura son controladas cuidadosamente para minimizar las emisiones de dioxinas [25,26].

Una vez que se genere la combustión, los gases pasan a una caldera de aceite térmico, en donde van a realizar una interacción de energía. Luego, el aceite caliente se envía al ciclo de eficacia en donde es posible la transferencia de calor térmico a líquidos y gases, con la finalidad de calentar y generar evaporación a un fluido orgánico, este mismo será útil para la ejecución de acciones en la turbina fusionada a un generados eléctrico.

El método utilizado para la transferencia de calor a líquidos y gases o también denominado ORC, es utilizado para los parámetros de potencia mínima, considerando que sea menor a 2MW. Este sistema que se requiere implementar, tiene la ventaja que viene sellado, por lo que, su instalación lo hace menos complicada facilitando el ensamblaje.

La característica de este es que permite el régimen de operación electricidad-agua térmica y no permite este en electricidad-vapor. Esta característica mencionada es adecuada para aquellos lugares donde no cuenta o su acceso a recurso hídrico térmico es limitado, como, por ejemplo, aquellas ciudades con temperaturas muy bajas en donde necesita un sistema de calefacción para neutralizar el frío. En el presente estudio, tiene como características que la demanda de agua caliente es mínima, por lo que no hace sustentable este parámetro.

A pesar de esto sigue siendo una buena opción, comparado con un ciclo de vapor de baja presión, debido a la uniformidad de operación, sencillez y fiabilidad [22].

Se presenta como siguiente figura, al Ciclo de Orgánico de Rankine (ORC)



Fig. 11: Sistema ORC.

Explicado el proceso del ciclo orgánico de Rankine, en donde hay intercambio de energía en la caldera para los líquidos y gases, este método utiliza una fase seca con bicarbonato de sodio para eliminar los gases ácidos y carbón activado en polvo (PAC) para la remoción de las dioxinas y metales pesados. Por último, es la fase donde se encierra el material particulado mediante los filtros de manga, este material particulado tiene origen en la fase de combustión y en el sistema de limpieza inyectado para el proceso.

El gas limpio es liberado a la atmósfera a través de una chimenea de 21 metros [22]. Es preciso mencionar que los parámetros que se siguen para este caso son las normativas escocesas, es decir, en donde el método de combustión de la caldera y los equipos utilizados para el cumplimiento de los procesos siguen los diseños propuestos en las emisiones directas a la atmosfera.

Análisis energético del sistema cBOS.- Dentro de los pasos a realizar, se encuentra la recreación de dos sistemas de combustión, para que se obtenga las características y propiedades de los flujos de gases generados en la etapa de combustión, esto será útil en la generación de energía eléctrica. El método número uno utilizado, es el ciclo primario de gasificación y luego el secundario de gasificación para que exista el intercambio y que se establezca como una combustión directa. Un

segundo método en donde está conformado por dos etapas, en la primera, un sistema constituido por un gasificado, hay inyección de aire y combustible, dos componentes básicos para generar combustión, y egresa gas sintetizado. En la segunda etapa, está conformado por la cámaras de combustión, generando gases térmicos de combustión.

Los resultados de ambos análisis difieren en un orden del 2%, lo cual asegura la confiabilidad de los resultados [22].

En la siguiente figura se muestra los resultados de la simulación del primer método:

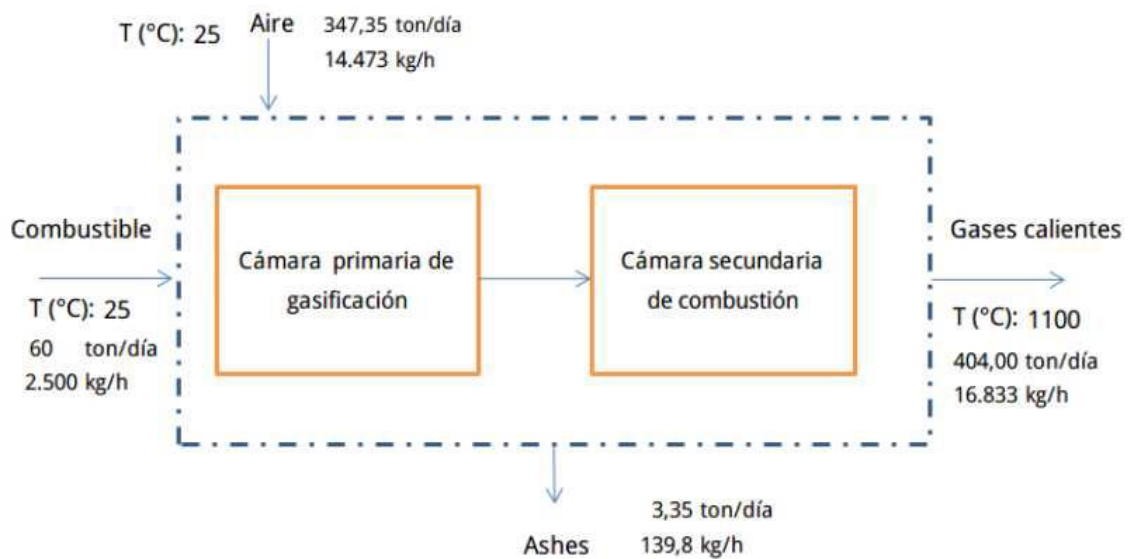


Figura 12: Flujos diarios resultantes [22]

Con el flujo de gases calientes calculado mediante la simulación, y a la temperatura calculada, la generación de energía eléctrica es del orden de 1,6MW, lo que dejará una energía generada neta de 1,2MW para su venta, siendo los 0,4MW restantes utilizados en los sistemas internos de la planta.

Incineración

El objetivo de la incineración de residuos, es someterlos a un tratamiento determinado con el fin de reducir su volumen y peligrosidad, seleccionándolos y concentrándolos, o destruyendo las sustancias potencialmente nocivas. Los procesos de incineración también pueden ofrecer un medio que permita la recuperación del contenido energético, mineral o químico de los residuos [27]. Existen diferentes procesos y tecnologías para la reducción térmica de residuos sólidos, pero un procedimiento general es el siguiente, inicialmente se reciben los residuos y materias primas, luego se almacenan de manera adecuada, y posteriormente se realiza el pre-procesamiento de

residuos, que incluye tratamientos in situ y operaciones de mezcla , donde se verifica una separación de los residuos más voluminosos, y se llevan a cabo los procesos de trituración, tamizado, separación y densificación. Posteriormente, se procede a la incineración, que incluye la carga de residuos en el horno, mezcla de los residuos, inyección del aire, combustión y postcombustión. Las principales etapas del proceso de incineración son: secado y volatilización; la pirólisis y gasificación, y la oxidación. Estas etapas individuales, generalmente se superponen, lo que significa que la separación espacial y temporal de las mismas durante la incineración de residuos sólo puede ser posible en una medida limitada. Sin embargo, es posible influir en estos procesos con el fin de reducir las emisiones contaminantes, por ejemplo, mediante el uso de medidas tales como el diseño del horno, distribución del aire y la ingeniería de control (Bosmans et al. 2013). Durante las últimas décadas, la mayoría de los países industrializados con densidades de población elevadas, han empleado la incineración como procedimiento alternativo al vertedero controlado, para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos. Precisamente, el poder calorífico del material a incinerar y el potencial contaminante de las emisiones son dos causas que han hecho evolucionar los sistemas de incineración hacia procedimientos capaces de alcanzar mayores rendimientos en la combustión y mayor eficacia en la eliminación de contaminantes [27]. Los residuos son, por lo general, materiales altamente heterogéneos, compuestos esencialmente por sustancias orgánicas, minerales, metales y agua y—durante la incineración—se generan diferentes gases (CO_2 , H_2O , O_2 , N_2) que contienen la mayor parte de la energía liberada en forma de calor durante su combustión. Además, obedeciendo a la composición del material incinerado y las condiciones de funcionamiento, aparecen cantidades menores de otros gases. A pesar de que varios autores mencionen que la incineración de los residuos no es el mejor método de tecnología para provechar los residuos, hay otros autores que refieren como un método amigable con el medio ambiente, claro está debe tener las siguientes consideraciones: control de las emisiones de gases, recuperación y aprovechamiento de la energía y la eliminación o acumulación de residuos en un espacio. En función de las temperaturas de combustión durante las etapas principales de la incineración, los metales pesados, volátiles y compuestos inorgánicos (por ejemplo, sales) son total o parcialmente evaporados. Estas sustancias se transfieren desde los residuos de entrada tanto para los gases de combustión como para las cenizas volátiles [28]. El proceso de combustión de la fase gaseosa se produce en fracciones de segundo y libera energía de forma simultánea. Cuando el poder calorífico del residuo y el suministro de oxígeno es suficiente, esto puede producir la reacción térmica en cadena y la combustión autosustentada, es decir, que no requiere la adición de otros combustibles. El poder calorífico del residuo constituye un factor determinante en la economía de la incineración [29]. La composición de los residuos está determinada por cuatro elementos: humedad, cenizas, volátiles y carbono fijo.

El contenido de metales pesados es muy importante, ya que pueden quedar en las cenizas finales del proceso, o pasar a la fase gaseosa (en el caso de metales volátiles), o formar compuestos de As, Cd, Pb o Hg, que tendrán que ser eliminados para satisfacer los límites de emisión exigidos por la legislación. Otra de las características de las cenizas es su fusibilidad, que depende no sólo de su composición, sino también del carácter más o menos oxidante de la atmósfera en la que se lleve a cabo la incineración. En los incineradores de RSU, las cenizas de fondo constituyen, aproximadamente, entre el 25 y el 30%, en peso, de la entrada de residuos sólidos. La investigación en este campo está en curso [30]. La cantidad de cenizas volátiles es mucho más baja, por lo general 1-5%, en peso, de los sólidos de entrada [31]. El método de incineración es muy complejo, no solo por los procesos que requiere sino también por la inversión y las operaciones que requiere para lograr con su objetivo. Para que se pueda ensamblar esta tecnología se requiere tener claro la cantidad de energía que va a generar, cuanto va a sumar en el aspecto económico y, por último, la ayuda al medio ambiente con la reducción de residuo sólidos. La **Figura 13**, muestra el esquema de una planta de incineración con recuperación de energía para la producción de vapor y generación de elect.

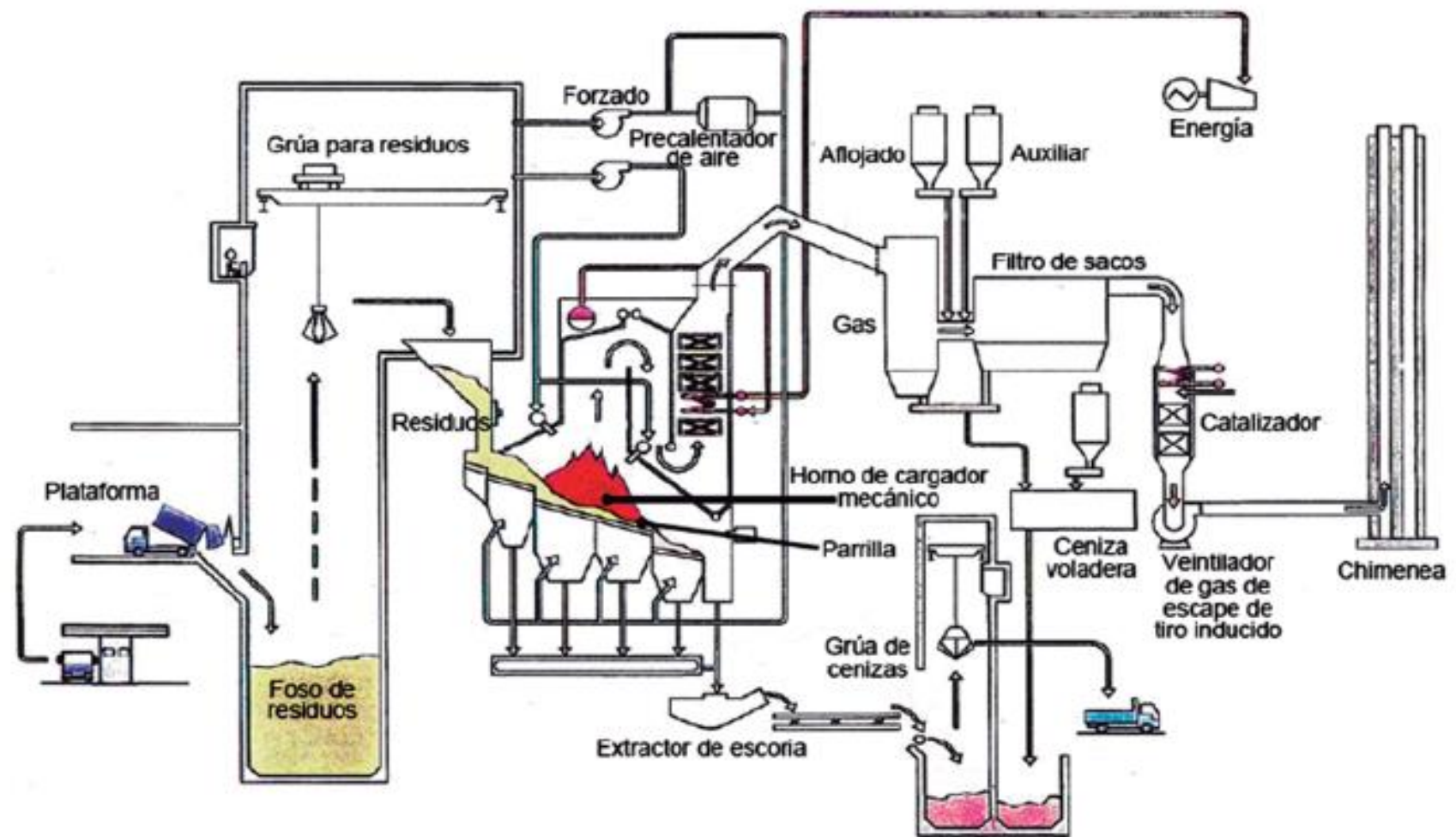


Fig.13 Esquema de una planta de incineración con recuperación de energía

DISCUSION

- De acuerdo a la hipótesis planteada, la cual establece que el 50% de los residuos sólidos municipales pueden ser utilizados para la generación de energía eléctrica en el distrito de La Tinguña, se pudo determinar que dichos residuos pueden ser utilizados en un 78.8% del total, lo cual representa un 28.8% más de lo establecido inicialmente.
- En cuanto a la normatividad nacional se pudo verificar que dentro de las etapas para el manejo de residuos no contempla la valorización energética de residuos.
- En lo que respecta a los datos de las características químicas de los residuos como son porcentaje de humedad y poder calorífico, estos fueron obtenidos de la bibliografía cuando lo ideal hubiera sido obtenerlos mediante el estudio de caracterización realizado en campo, obteniendo de esta manera información precisa.
- Con respecto a la generación per cápita para el Distrito de La Tinguña obtenida, este valor puede variar de acuerdo a la estación del año en la que se obtiene, siendo mayor en verano y menor en invierno.
- Se obtuvo un valor de densidad para los residuos totales, más no se determinó la densidad por tipo de residuo, con el cual se podría haber obtenido un valor más exacto.

CONCLUSIONES

- 1.- Las propuestas para la generación de energía a partir de los residuos sólidos municipales se emplearon para transformar, reducir el volumen y peso de los residuos sólidos, así como para recuperar productos de conversión de energía por medio de la termo valorización.
- 2.- La base de datos de generación de residuos sólidos municipales corresponde a la cantidad total de residuos sólidos generados anualmente en los domicilios y los provenientes de las actividades económicas e institucionales a nivel distrital
- 3.- Un estudio técnico de una planta de generación eléctricas a base de biogás aprovechando los residuos sólidos urbanos es factible por la alta rentabilidad de la planta eléctrica a biogás, teniendo beneficios: En el ámbito social beneficiara a la población ante el crecimiento de la demanda de energía eléctrica en nuestra ciudad Además de ser ambientalmente viable por la mejora de calidad de vida de los pueblos aledaños eliminando los olores putrefactos y emisión de gases de efecto invernadero. Desde el punto de vista económico requiere una adecuada gestión técnico – administrativa para que pueda ser implementado con éxito y alcanzar expectativas de generación eléctrica
- 4.- Las condiciones sub-estequiométricas, de modo autotérmico y evitando la fusión de cenizas, establecen que el proceso se debe llevar a cabo con una relación equivalente combustible-aire de gasificación entre 1.5 y 3.3, independiente del contenido de humedad de los RSU.

RECOMENDACIONES

- ☐ Se recomienda contar con información de las características químicas de los residuos sólidos en estudios de caracterización futuras, como son el poder calorífico de los residuos municipales.
- ☐ Proponer la inclusión dentro de la Ley General de Residuos Sólidos la valorización energética en la etapa de reaprovechamiento de los residuos sólidos.
- ☐ Realizar estudios de factibilidad para la instalación de una planta de valorización energética de los residuos sólidos municipales.
- ☐ 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.

2.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CONAM 2005. “Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos”
- [2] Decreto Legislativo N° 1013, aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente
Artículo 1.- Finalidad de la ley
La presente ley crea el Ministerio del Ambiente, establece su ámbito de competencia sectorial y regula su estructura orgánica y sus funciones.
- [3] Decreto Supremo N° 014-2011-MINAM, aprueba el Plan Nacional de Acción Ambiental
- [4] En donde resalta el Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos (GICA), que con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), viene implementando 31 proyectos de residuos sólidos (que incluyen equipamiento, construcción de infraestructura y asistencia técnica para lograr la sostenibilidad de los servicios) en igual número de ciudades y que beneficiarán a 3.1 millones de personas.
- [5] MINAM, 2015. Información provista por los gobiernos locales mediante la plataforma SIGERSOL y Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos.
- [6]. Castaldi, M., J. van Deventer y otros 8 autores, Progress and Prospects in the Field of Biomass and Waste to Energy and Added-Value Materials, doi: 10.1007/s12649-017-0049-0, Waste and Biomass Valorization, 8(6), 1875-1884 (2017) [Links]
- [7]. García, C.A., M.L. Vaca y G.F. Talero, Aprovechamiento de biomasa pelletizada en el sector ladrillero en Bogotá-Colombia: análisis energético y ambiental, doi:10.4067/S0718-07642013000300013, Inf. Tecnológica, 24(3), 115-120 (2013) [Links]
- [8]. Yang, Y.B., V.N. Sharifi y J. Swithenbank, Converting moving-grate incineration from combustion to gasification - Numerical simulation of the burning characteristics, doi: 10.1016/j.wasman.2006.03.014, Waste Management, 27(5), 645-655 (2007) [Links]
- [9]. Castaldi, M., J. van Deventer y otros 8 autores, Progress and Prospects in the Field of Biomass and Waste to Energy and Added-Value Materials, doi: 10.1007/s12649-017-0049-0, Waste and Biomass Valorization, 8(6), 1875-1884 (2017) [Links]
- [10]. Arena, U., Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review, doi: 10.1016/j.wasman.2011.09.025, Waste Management, 32(4), 625-639, (2012) [Links]

- [11]. Bhavanam, A. y R.C. Sastry, Modelling of solid waste gasification process for synthesis gas production, ISSN: 0975-1084, J. of Scientific and Industrial Research, 72, 611-616 (2013) [Links]
- [12]. Mendoza, J.M., A.J. Bula, R.D. Gómez y L.A. Corredor, Análisis exergético de la gasificación de biomasa, doi:10.4067/S0718-07642012000500009, Inf. Tecnológica, 23(5), 85-96 (2012) [Links]
- [13] A. Orbe. Generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de residuos sólidos: el caso de Loja. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. Ecuador 2016
- [14] E. Gómez. Implementación de un biodigestor para el aprovechamiento de los residuos de las granjas porcinas en el municipio de Tibana. Bogotá 2017
- [15] N. Montiel y J. Pérez. Generación de Energía a partir de Residuos Sólidos Urbanos. Estrategias Termodinámicas para Optimizar el Desempeño de Centrales Térmicas a. Ediciones Díaz de Santos. Grupo de manejo eficiente de la energía (GIMEL), Departamento de ingeniería mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia; Medellín, Colombia. 2019
- [16] J. Alvarado. Estudio comparativo de las diferentes tecnologías de celdas de combustible. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, ISSN 0366-3175, Vol. 52, Nº. 3, 2013, págs. 105-117
- [17] J. Cardona. Estudio de pre-factibilidad de una planta térmica Waste to Energy (WtE), para el aprovechamiento de residuos sólidos municipales en el Valle de Aburrá. <https://hdl.handle.net/10495/33494>.
- [18] J. Flores et al. Uso de los residuos sólidos municipales para la generación de energía eléctrica en la Provincia del Santa. Universidad Nacional del Santa. Chimbote 2016
- [19] L. Blas. Manejo de residuos sólidos domiciliarios en la gestión municipal en la Comunidad de Tanta, Lima, 2020. UNIVERSIDAD RICARDO PALMA. Lima. 2020
- [21] Ascanio. Plan de manejo de residuos sólidos urbanos para el distrito de el Tambo según las recomendaciones de la agenda 21. Universidad nacional del centro.
- [22] Cuarto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales y No Municipales (2013). Recuperado el 21 de octubre del 2015 de: <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/cuarto-informe-nacional-residuossolidos-municipales-no-municipales>

- [23] Badami, M.; Mittica, A.; Poggio, A. MSW Incineration Capacity Evaluation for the Province of Turin (Northern Italy), Conferencia Norteamericana de WTE NAWTEC16), 2008.
- [24] Fernández, J. La Basura como recurso energético. Situación actual y prospectiva en México, Boletín del Instituto de Investigaciones, Enero – marzo 2011.
- [25] Scottish environment protection agency. Permit to operate a 'PART A' installation. Operator: ScotGen(Dumfries)Ltd..http://www.sepa.org.uk/air/process_industry_regulation/pollution_prevention__control/public_participation_directive/ppd_consultations/idoc.aspx?docid=cd5ad028-0aed-4823-ac2a-c5f4227acc2a&version=-1.
- [26] Sheepbridge Resource Park Limited. Determination of an application for an environmental permit under the environmental permitting (England & Wales) regulations 2010.
<http://www.againstincineration.org.uk/wp-content/uploads/2010/09/Sheepbridge-FINAL-DD-09-September-10.pdf>.
- [27] Greenenergy Solutions, inc., Sistema cBOS, disponible en <http://www.greenenergyph.com/cbos.html>, último acceso en mayo 2012.
- [28] A. Bosmans, I. Vanderreydt, D. Geysen y L. Helsen, «The crucial role of Waste to-Energy technologies in enhanced landfill mining: a technology review.,» Journal of Cleaner Production, vol. 55, pp. 10-23, 2013.
- [29] IDAE–Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, «Situación y potencial de calorización energética directa de residuos. Estudio técnico PER 2011 – 2020,» IDAE, Madrid, 2011.
- [30] Pacific Heat and Power, Heat Recovery, disponible en http://www.pacificheatandpower.com/index.php/organic_rankine_cycle_turbines, último acceso en mayo 2012.
- [31] Tchobanoglous, G.; Theisen, H.; Vigil, S. Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management, 1993, McGraw-Hill.

2.8 Anexos

2.8.3 Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Metodología / diseño
Problema general ¿Como se realiza la generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento de los residuos sólidos de la municipalidad de la Tinguña, provincia de Ica, 2023? Problemas Específicos PE1.- ¿Como se determina la Producción Per Cápita de Residuos Sólidos Municipales Generados en Diversos Estratos en el Distrito de la Tinguña, provincia de Ica? PE2.- ¿Como se realiza un estudio técnico de una planta de generación eléctricas a base de biogás aprovechando los residuos sólidos urbanos? PE3: ¿Como se determina el cálculo de la Generación Diaria de Energía Eléctrica por modelo de Proceso Térmico?	Objetivo general: Determinar la generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento de los residuos sólidos de la municipalidad de la Tinguña, provincia de Ica, 2023. Objetivos específicos OE1: Determinar la Producción Per Cápita de Residuos Sólidos Municipales Generados en Diversos Estratos en el Distrito de la Tinguña, provincia de Ica. OE2.- Realizar un estudio técnico de una planta de generación eléctricas a base de biogás aprovechando los residuos sólidos urbanos. OE2: Determinar el cálculo de la Generación Diaria de Energía Eléctrica por modelo de Proceso Térmico.	Hipótesis general: La energía eléctrica se genera a partir del aprovechamiento de los residuos sólidos de la municipalidad de la Tinguña, provincia de Ica, 2023. Hipótesis específicas: HE1.- Si se determina la Producción Per Cápita de Residuos Sólidos Municipales Generados en Diversos Estratos para la generación de energía en el Distrito de la Tinguña, provincia de Ica. HE2.- Si se realiza un estudio técnico de una planta de generación eléctricas a base de biogás aprovechando los residuos sólidos urbanos. HE3: Si se determina el cálculo de la Generación Diaria de Energía Eléctrica por modelo de Proceso Térmico.	Variable independiente: Residuos solidos Variable dependiente Generación de energía eléctrica	Tipo de estudio: Cuantitativo aplicado Nivel: Descriptivo Diseño del estudio: No experimental de diseño correlacional Población y muestra Población Viviendas del distrito de La Tinguña. Muestra: La muestra será un total de 80 viviendas dl distrito de la Tinguña

Residuos Sólidos 2016-2024

- Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales -Decreto Legislativo N°613
- Creación del Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), Ley del Consejo Nacional del Ambiente - Ley N° 26410
- Ley General de Residuos Sólidos (incluye modificatorias) -Ley N°27314
- Reglamento de la Ley N°27314 -Decreto Supremo N°057-2004-PCM
- Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PLANRES) -Decreto del Consejo Directivo N°004-2005-CONAM/CD
- Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente -Decreto Legislativo N°1013
- Ley que Impulsa la Inversión Pública Regional y Local con Participación del Sector Privado (Obras por impuesto) -Ley N°29230
- Creación del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)
- Política Nacional del Ambiente (PNA)
- Ley que regula la actividad de los recicladores -Ley N°29419
- Plan Nacional de Gestión de Residuos Sólidos en Establecimientos de Salud y Servicios Médicos de Apoyo 2010-2012
- Plan Nacional de Acción Ambiental PLANAA PERÚ: 2011-2021 -Decreto Supremo N° 014-2011-MINAM
- Plan Bicentenario: El Perú hacia el 2021 -Decreto Supremo N° 054-2011-PCM
- Plan de Incentivos a la Mejora de la Gestión de Modernización Municipal (PI) -MEF -MINAM
- Política Nacional de Educación Ambiental -Decreto Supremo N°017-2012-ED
- Plan Estratégico Sectorial Multianual del Sector Ambiente 2013-2016 -MINAM
- Reglamento de Manejo de los Residuos Sólidos del Sector Agrario -Decreto Supremo N°016-2012-AG
- Estrategia de Igualdad de Género -PNUD -Lima
- Reglamento Nacional para la Gestión y Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos -Decreto Supremo N°001-2012-MINAM
- Reglamento para la gestión y manejo de los residuos de las actividades de la construcción y demolición -Decreto Supremo N°003-2013-VIVIENDA
- Agenda Nacional de Acción Ambiental –Agenda Ambiente Perú 2013-2014 -MINAM
- Agenda Nacional de Acción Ambiental -Agenda Ambiente 2015-2016 -MINAM
- Formulación del Plan de Acción de Género y Cambio Climático -MIMP-MINAM
- Elaboración de las Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional
- Programa “NAMA en Residuos Sólidos –Perú”

•Evaluación de Desempeño Ambiental del Perú 2003 -2013 (OCDE y CEPAL)

Cuadro N° 07: Comparación del Tratamiento Térmico de los Residuos Sólidos Urbanos Entre los Diferentes Métodos

Método		Características de los residuos sólidos	Rendimiento por líneas	Información Ambiental		Calidad de las cenizas de fondos	Volumen de gases de combustión	Información de Costos
				Ventajas	Desventajas /limitaciones de uso			
Incineración	Parrilla Móvil	Heterogéneos Desechos médicos	1 a 50 t/h	Bajo costo de mantenimiento puede tomar desechos sin especial preparación	No se adapta a polvos líquidos o a materiales que se puedan fundir a través de la rejilla	Carbón orgánico total 0.5% a 3%	4000 – 7000 m³/t	Alta capacidad reduce el costo específico por tonelada de residuo
	Lecho fluidizado	Solamente desechos finamente divididos	1 a 10 t/h	Buena mezcla Cenizas volátiles de buena calidad de lixiviación	Requiere cuidadosa operación para evitar la obstrucción del lecho Cantidades de cenizas volantes más altas	Carbón orgánico total < 3%	Relativamente más bajas que el de rejilla	Tratamiento de gases de combustión Costo puede ser menor
	Horno Rotativo	Recibe residuos orgánicos Aplicad para desechos peligrosos	< 10 t/h	Recibe amplia gama de residuos incluso desechos peligrosos	Rendimiento inferior que el horno de parrilla	Carbón orgánico total < 3%	6 – 100000 m³/t	Mayor costo específico debido a la reducida capacidad
Pirólisis		Pretratamiento de residuos sólidos Altos flujos de metal Residuos plásticos fragmentados Pirolisis menos utilizados que la incineración	5 a 10 t/h	Ninguna oxidación de metales Falta de energía de combustión para metales Posible neutralización de ácidos en el reactor *gas de síntesis disponibles	Desechos limitados Control de procesos e ingeniería crítico Necesita mercado para gas de síntesis	Depende de la temperatura del proceso Residuo producido requiere procesamiento adicional a veces de combustión	Muy baja debido a menor cantidad de aire requerido para gas de combustión	Alto costo de pretratamiento y capital
Gasificación		Residuos plásticos mixtos	20 t/h	Residuos de baja lixiviación Gases de síntesis disponibles Reducción de la oxidación de los metales reciclables	Alimentación de residuos limitados No existe combustión completa Alquitrán en el gas crudo	Baja lixiviación Cenizas de fondo Buena incineración con el oxígeno	Inferior a la combustión directa	Alto costo de mantenimiento

Fuente: EUROPEAN COMMISSION. (2006).

CUADRO N° 16: Composición de Residuos Sólidos

Tipo de Residuos Sólidos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Total	Composición Porcentual
	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	%
1. Materia Orgánica	33.1	45.01	29.02	38.52	35.72	29.82	30.78	242	59.8
2. Madera, Follaje	0.5	0.43	0.7	0.38	0.68	0.95	0.91	4.55	1.1
3. Papel	0.92	2.34	2,31	1.74	1.78	0.62	1.24	10.95	2.7
4. Cartón	1.74	1	2,3	2.7	3.86	2.54	2.04	16.18	4.0
5. Vidrio	2.4	1.56	2,54	1.56	2.52	1.92	1.53	14.03	3.5
6. Plástico PET	0.32	0.84	1,06	1.26	0.82	0.92	1.72	6.94	1.7
7. Plástico Duro	0.64	0.72	1,5	1.06	0.3	0.58	1.16	5.96	1.5
8. Bolsas	4.06	3.88	2,9	2.02	3.02	1.44	1.88	19.2	4.7
9. Tecknopor y similares	0.8	0.45	0,33	0.22	0.12	0.08	0.1	2.1	0.5
10. Metal	1.02	0.72	1.82	1.58	1.24	1.96	1.68	10.02	2.5
11. Telas, textiles	0.75	0.56	1.23	1.5	1.22	0.86	0.72	6.84	1.7
12. Caucho, cuero, jebe	0.5	0.1	0.12	0.3	0.25	0.9		2.17	0.5
13. Pilas	0.1	0.15	0	0	0.15	0	0.3	0.7	0.2
14. Restos de medicinas, focos, etc.	0.1	0.18	0	0.13	0.18	0.5	0.2	1.29	0.3
15. Residuos Sanitarios	2.4	3.38	3.02	4.56	3.68	3.38	3.16	23.58	5.8
16. Residuos Inertes	3.5	4	6.2	5.6	4.9	3.8	4.9	32.9	8.1
17. Otros: porcelanas, restos de ladrillos y cementos	1.03	1.2	0.56	0.59	0.7	0.25	0.85	5.18	1.3

