

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA EN
ENERGÍA



TESIS

“USO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES PARA LA
GENERACION DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA
PROVINCIA DEL SANTA”

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN ENERGÍA

AUTOR: Bach. DOMINGUEZ HUAMANÍ, Álvaro
Bach. FLORES PAREDES, Jorge Alan

ASESOR: Mg. ROJAS FLORES, Amancio

CHIMBOTE – PERU
MAYO 2016

RESUMEN

El presente proyecto tuvo como objetivo determinar el potencial energético, analizar las características físicas y el tipo de tratamiento de la valorización energética para el uso de los residuos sólidos municipales en la Provincia del Santa, dado que en la actualidad no se cuenta con ningún tratamiento de residuos sólidos antes de su disposición final. La metodología utilizada fue la establecida el Dr. Kunitoshi Sakurai la misma que es recomendada por el Centro Panamericana de Ingeniería Sanitaria para la ejecución de caracterización de residuos sólidos. Se realizó el estudio de caracterización para el Distrito de Chimbote en el mes de abril del año 2015, obteniendo a una muestra noventa y ocho viviendas con la que se pudo determinar que la generación per cápita tiene un valor promedio de 0.73 kg/hab.día y la generación total diaria de 270.83 Tn de residuos. Los datos obtenidos junto con los análisis que han sido realizados permitieron obtener la cantidad de energía diaria generada para el año 2015 por tipo de tratamiento térmico, obteniendo los valores de 102.44 MW/día por medio de la incineración, 128.05 MW/día por gasificación y 170.73 MW/día por pirolisis. Con estos resultados se puede concluir que los residuos sólidos municipales generados en la Provincia del Santa representan una alternativa de generación de energía eléctrica mediante procesos térmicos de valorización energética.

ABSTRAC

This project aimed to determine the energy potential , analyze the physical characteristics and the type of treatment energy recovery for use of municipal solid waste in the Province of Santa, since currently do not have any treatment solid waste before disposal. The methodology used was established Dr. Kunitoshi Sakurai is the same as that recommended by the Pan American Center for Sanitary Engineering for the implementation of solid waste characterization. The characterization study was conducted for the District of Chimbote in April 2015, obtaining a sample ninety-eight houses with which it was determined that the per capita generation has an average value of 0.73 kg/hab.day and the total daily generation of 270.83 tons of waste. The data obtained together with the analyzes that have been made helped get the daily amount of energy generated by 2015 by type of heat treatment, obtaining values of 102.44 MW/day through incineration, 128.05 MW/day gasification and 170.73 MW/day by pyrolysis. With these results it can be concluded that municipal solid waste generated in the Province of Holy represent an alternative power generation by thermal energy recovery processes.

DEDICATORIA

A Dios que me dio la vida, los dones que poseo y las bendiciones que pone en mi camino.

A mis Padres, en especial a mi madre, por su esfuerzo, sacrificio y valor mostrado para salir adelante ante cualquier circunstancia, por sus consejos y cuidados, por inculcar buenos valores en mí y ser ejemplo de superación.

A mi Esposa Yessica por su amor, por su apoyo incondicional, por su paciencia y sacrificio, por haberme dado la dicha de ser padre, pero sobre todo por darme la fortaleza y ánimos en momentos que creía que me iba a rendir.

A mi Hija Por el amor que me hace sentir, por ser mi orgullo, por ser mi mayor motivación en la búsqueda de lograr mis metas y por enseñarme cada día como ser el mejor padre.

ALAN.

DEDICATORIA

*A Dios por bendecirme e iluminar mi camino,
por hacerme fuerte para lograr mis objetivos.*

*A mis Padres por guiar mis pasos, a mi madre
Rosa María por su esfuerzo y sacrificio, por
enseñarme a salir adelante ante cualquier
adversidad.*

*A mi Esposa por su amor y dedicación, por
motivarme cada día a ser mejor persona y por
haberme dado dos hermosos hijos.*

*A mis Hijos por ser mi mayor motivación y quien
dan sentido a mi vida y por llenar mis días de
dicha y felicidad.*

ALVARO.

AGRADECIMIENTO

Deseamos expresar nuestro agradecimiento sincero a nuestro asesor Ing. Rojas Flores Amancio y a nuestro profesor Ing. Guevara Chinchayan Robert quienes además de transmitirnos sus conocimientos nos orientaron y apoyaron para la culminación de esta tesis. Agradecerles la plena confianza que siempre me han demostrado, así como la dedicación y la atención que en todo momento nos han ofrecido.

INDICE

RESUMEN	II
ABSTRAC.....	III
DEDICATORIA.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
INDICE.....	VII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	2
1.3. LUGAR E INSTITUCIÓN DONDE SE REALIZA EL PROYECTO	3
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	3
1.6. OBJETIVOS	4
1.6.1. General.....	4
1.6.2. Específicos.....	4
II. MARCO REFERENCIAL	5
2.1. marco teorico	5
2.1.1. RESIDUOS SOLIDOS.....	5
2.1.2. VALORIZACION ENERGETICA.....	22
2.2. MARCO NORMATIVO	68
III. MÉTODO Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	73
3.1. METODO	73
3.2. METODOLOGIA	73
3.2.1. Secuencia Metodológica Para Obtener la Generación y Demás Características Físicas de Residuos Sólidos	73
3.2.2. Secuencia Metodológica Para la Obtención del Potencial Energético de los Residuos Sólidos	79
IV. CALCULOS Y RESULTADOS	80
4.1. CALCULO DE LA GENERACION Y DEMÁS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS RESIDUOS	80
4.1.1. Cálculo del Número de Viviendas Muestreadas.....	80
4.1.2. Calculo del Potencial Energético de los Residuos Sólidos de la Provincia del Santa	85
V. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO	90
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	92

VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
7.1.	CONCLUSIONES	93
7.2.	RECOMENDACIONES.....	94
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	95
8.1.	BIBLIOGRAFÍA	95
	ANEXO n° 01.....	98

I. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Actualmente el incremento de los residuos sólidos generados por el hombre se está convirtiendo en un grave problema para la sociedad, la inadecuada disposición de residuos sólidos municipales a nivel nacional y local es un problema ambiental latente. La disposición de residuos sólidos a cielo abierto, su incineración, la falta de control de lixiviados y el arrojado de residuos en fuentes naturales de agua genera impactos ambientales severos y pone en riesgo la salud de las personas.

Existen alternativas de solución que aumentan su presencia e implementación a nivel mundial, se trata de la valorización energética de residuos, en donde los residuos se someten a ciertos procesos, de forma que se reduce su volumen y se genera, por un lado, unas pequeñas cantidades de residuos, y, a su vez, energía proveniente de los materiales contenidos. Esta energía obtenida es equiparable en muchas ocasiones y dependiendo de los residuos a los combustibles convencionales.

A nivel mundial existen más de 1200 plantas que utilizan diversas tecnologías para la generación de energía a partir de residuos, las que se distribuyen en unos 40 países. Ellas procesan unos 190 millones de toneladas de residuos sólidos mayormente en la Unión Europea, Japón, Estados Unidos y China.

Sin embargo muchas de ellas son plantas pequeñas con capacidad inferior a las 48 Ton/día que destinan la energía eléctrica o el vapor generado para uso propio.

En algunos países de Latinoamérica como Ecuador, Argentina, Chile y Uruguay se vienen realizando estudios para determinar el potencial energético de los residuos sólidos urbanos para valorizarlo energéticamente mediante procesos térmicos.

En el Perú existe una central térmica de biomasa que utiliza los residuos sólidos municipales y mediante procesos biológicos obtienen biogás para accionar tres generadores produciendo energía eléctrica la cual es inyectada al sistema interconectado nacional.

1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Debido a los embates que el medio ambiente ha recibido en los últimos dos siglos por el desarrollo industrial, los gobiernos de todo el mundo buscan una manera de combatir la contaminación y la crisis energética, a través de la búsqueda continua de combustibles alternativos y renovables, que sean más económicos. De hecho, para fomentar el uso de energías alternativas a la gasolina o el diésel, muchos gobiernos están ofreciendo estímulos económicos a consumidores y empresas que utilicen la valorización energética de los residuos como una fuente de energía.

Los residuos sólidos son un recurso renovable que puede utilizarse como materia prima en sustitución de otras fuentes de energía con mayor impacto sobre el medio ambiente y la salud, como es el caso de los combustibles fósiles.

El presente trabajo de investigación es importante, porque a través de los resultados que se establezcan en él, se cuantificará el potencial energético de los residuos sólidos municipales para su uso en la generación de energía eléctrica en la Provincia del Santa.

1.3. LUGAR E INSTITUCIÓN DONDE SE REALIZA EL PROYECTO

El presente trabajo de investigación se realizó en el departamento de Ancash, Provincia del Santa, Distrito de Chimbote.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué porcentaje de los residuos sólidos municipales de la Provincia del Santa podrán ser utilizados para la generación de energía eléctrica?

1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El 50% de los residuos sólidos municipales de la Provincia del Santa pueden ser utilizados mediante técnicas de conversión energética como la conversión térmica para la generación de energía eléctrica.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. General

- Determinar la energía generada de los residuos sólidos municipales para su uso como energía eléctrica en la Provincia del Santa.

1.6.2. Específicos

- Describir las etapas de la gestión y manejo de los residuos sólidos municipales según la normativa nacional.
- Determinar la generación per-cápita y total de residuos sólidos municipales.
- Determinar la densidad de los residuos sólidos municipales.
- Determinar el volumen generado de residuos sólidos.
- Determinar la composición de residuos sólidos.
- Determinar el potencial energético de los residuos sólidos por tipo de conversión térmica.

II. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEORICO

2.1.1. RESIDUOS SOLIDOS

Los residuos sólidos son sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido, desechados por su generador. Se entiende por generador a aquella persona que en razón de sus actividades produce residuos sólidos¹.

Suele considerarse que carecen de valor económico, y se les conoce coloquialmente como “basura”.

Es importante señalar que la ley también considera dentro de esta categoría a los materiales semisólidos (como el lodo, el barro, la sanguaza, entre otros) y los generados por eventos naturales tales como precipitaciones, derrumbes, entre otros.

2.1.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

A. POR SU ORIGEN

i. Residuos Domiciliarios

En las actividades domésticas realizadas en los domicilios. Estos comprenden los restos de alimentos, periódicos, revistas, botellas, embalajes en general, latas, cartón, pañales descartables, restos de aseo personal y otros similares².

¹ Cf Artículo 14° de la Ley N° 27314 – Ley General de Residuos Sólidos.

² Cf. Décima Disposición Complementaria, Transitoria y Final de la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos.

En Argentina, Pinto (2009: pág. 54) explica que los residuos sólidos domiciliarios “son aquellos elementos, objetos o sustancias que como consecuencia de los procesos de consumo y desarrollo de actividades humanas son desechados o abandonados”.

A continuación, se muestra un cuadro que detalla ejemplos de diferentes tipos de residuos sólidos domiciliarios:

Cuadro N° 01: Tipo de Residuos Sólidos Domiciliarios

Tipo	Ejemplo
Orgánico	Restos putrescibles, como restos vegetales, provenientes generalmente de la cocina, como cáscaras de frutas y verduras. También los excrementos de animales menores.
Papel	Hojas de cuadernos, revistas, periódicos, libros.
Cartón	Cajas, sean gruesas o delgadas.
Plásticos	Existe una gran diversidad de plásticos, los cuales se encuentran agrupados en siete tipos: <ul style="list-style-type: none">• PET (polietileno tereftalato): botellas transparentes de gaseosas, cosméticos, empaques de electrónicos.• HDPE o PEAD (polietileno de alta densidad): botellas de champú, botellas de yogur, baldes de pintura, bolsas de electrónicos, jabs de cerveza, bateas y tinas.• PVC (cloruro de polivinilo): tubos, botellas de aceite, aislantes eléctricos, pelotas, suela de zapatillas, botas, etc.• LDPE - PEBD (polietileno de baja densidad): bolsas, botellas de jarabes y pomos de cremas, bolsas de suero, bolsas de leche, etiquetas de gaseosas, bateas y tinas.• PP (polipropileno): empaques de alimentos (fideos y galletas), tapas para baldes de pintura, tapas de gaseosas, estuches negros de discos compactos.• PS (poliestireno): juguetes, jeringas, cucharitas transparentes, vasos de tecnopor, cuchillas de afeitar, platos descartables (blancos y quebradizos), casetes.• ABS (poliuretano, policarbonato, poliamida): discos compactos, baquelita, micas, carcazas electrónicas (computadoras y celulares), juguetes, piezas de acabado en muebles.
Fill	Envolturas de snack, golosinas.
Vidrio	Botellas transparentes, ámbar, verde y azul, vidrio de ventanas.
Metal	Hojalatas, tarro de leche, aparatos de hierro y acero.
Téxtil	Restos de tela, prendas de vestir, etc.
Cuero	Zapatos, carteras, sacos.
Tetra Pack	Envases de jugos, leches y otros.
Inertes	Tierra, piedras, restos de construcción.
Residuos de Baño	Papel higiénico, pañales, toallas higiénicas.
Plantas y Baterías	De artefactos, juguetes y de vehículos, etc.

Fuente: Guía de Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Residuos Sólidos Municipales a Nivel de Perfil, elaborada por el Proyecto STEM del Ministerio del Ambiente y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional - USAID/Perú, 2008, pág. 168.

ii. Residuos Comerciales

Son aquellos generados en los establecimientos comerciales de bienes y servicios, tales como: centros de abastos de alimentos, restaurantes, supermercados, tiendas, bares, bancos, centros de convenciones o espectáculos, oficinas de trabajo en general, entre otras actividades comerciales y laborales análogas. Estos residuos están constituidos mayormente por papel, plásticos, embalajes diversos, restos de aseo personal, latas, entre otros similares.

iii. Residuos de Limpieza de Espacios Públicos

Como su nombre lo indica, son aquellos residuos generados por los servicios de barrido y limpieza de pistas, veredas, plazas, parques y otras áreas públicas, independientemente del proceso de limpieza utilizado. El barrido de calles y espacios públicos puede realizarse de manera manual o con la ayuda de equipamiento.

iv. Residuos de los Establecimientos de Atención de Salud y Centros Médicos de Apoyo.

Son aquellos residuos generados en las actividades para la atención e investigación médica, en establecimientos como hospitales, clínicas, centros y puestos de salud, laboratorios clínicos, consultorios, entre otros afines.

De acuerdo a la Ley General de Residuos Sólidos, los referidos residuos se caracterizan por estar contaminados con agentes infecciosos o que pueden contener altas concentraciones de microorganismos que son de potencial peligro,

tales como: agujas hipodérmicas, gasas, algodones, medios de cultivo, órganos patológicos, restos de comida, papeles, embalajes, material de laboratorio, entre otros.

v. Residuos Industriales

Son aquellos residuos peligrosos o no peligrosos generados en los procesos productivos de las distintas industrias, tales como la industria manufacturera, minera, química, energética, pesquera y otras similares.

De acuerdo a la Ley General de Residuos Sólidos, los residuos antes mencionados se presentan como lodo, ceniza, escoria metálica, vidrio, plástico, papel, cartón, madera, fibra, que generalmente se encuentran mezclados con sustancias alcalinas o ácidas, aceites pesados, entre otros, incluyendo en general los residuos considerados peligrosos³.

vi. Residuos de las Actividades de Construcción

Son aquellos residuos generados en las actividades y procesos de construcción, rehabilitación, restauración, remodelación y demolición de edificaciones e infraestructuras⁴. La Ley General de Residuos Sólidos⁵ los define como aquellos residuos fundamentalmente inertes que son generados en las actividades de construcción y demolición de obras, tales como edificios, puentes, carreteras, represas, canales y otros similares.

³ Cf. Décima Disposición Complementaria, Transitoria y Final de la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos.

⁴ Cf. Artículo 6° del Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos de las Actividades de la Construcción y Demolición, aprobado por Decreto Supremo N° 003-2013-VIVIENDA.

⁵ Cf. Décima Disposición Complementaria, Transitoria y Final de la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos.

vii. Residuos Agropecuarios

La Ley General de Residuos Sólidos los define como aquellos residuos generados en el desarrollo de las actividades agrícolas y pecuarias. Estos residuos incluyen los envases de fertilizantes, plaguicidas, agroquímicos diversos, entre otros⁶.

viii. Residuos de Instalaciones o Actividades Especiales

Son aquellos residuos sólidos generados en infraestructuras, normalmente de gran dimensión, complejidad y de riesgo en su operación, con el objeto de prestar ciertos servicios públicos o privados, tales como plantas de tratamiento de agua para consumo humano o de aguas residuales, puertos, aeropuertos, terminales terrestres, instalaciones navieras y militares, entre otras; o de aquellas actividades públicas o privadas que movilizan recursos humanos, equipos o infraestructuras, en forma eventual, como conciertos musicales, campañas sanitarias u otras similares⁷.

B. POR SU PELIGROSIDAD

i. Residuos Peligrosos y No Peligrosos

Los residuos sólidos peligrosos son aquellos residuos que por sus características o el manejo al que son sometidos representan un riesgo significativo para la salud de las personas o el ambiente. De conformidad con la Ley General de Residuos Sólidos, se consideran peligrosos los que presenten por lo menos una de las siguientes características: autocombustibilidad, explosividad, corrosividad,

⁶ Cf. Décima Disposición Complementaria, Transitoria y Final de la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos.

⁷ Cf. Décima Disposición Complementaria, Transitoria y Final de la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos.

reactividad, toxicidad, radiactividad o patogenicidad⁸. Así, por ejemplo, se consideran como residuos sólidos peligrosos los lodos de los sistemas de tratamiento de agua para consumo humano o de aguas residuales, salvo que el generador demuestre lo contrario⁹.

C. EN FUNCION A SU GESTION

i. Residuos de Gestión Municipal

Son aquellos generados en domicilios, comercios y por actividades que generan residuos similares a estos, cuya gestión ha sido encomendada a las municipalidades¹⁰. La gestión de estos residuos es de responsabilidad del municipio desde el momento en que el generador los entrega a los operarios de la entidad responsable de la prestación del servicio de residuos sólidos, o cuando los dispone en el lugar establecido por dicha entidad para su recolección¹¹. La disposición final de residuos del ámbito de gestión municipal se realiza mediante el método de relleno sanitario¹².

ii. Residuos de Gestión No Municipal

Son aquellos residuos generados en los procesos o actividades no comprendidos en el ámbito de gestión municipal¹³.

⁸ Cf. Artículo 22° de la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos.

⁹ Reglamento de la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos, aprobado por Decreto Supremo N° 057-2004-PCM
"Artículo 27°.- Calificación de residuo peligroso

¹⁰ Cf. Décima Disposición Complementaria, Transitoria y Final del Reglamento de la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos, aprobado por Decreto Supremo N° 057-2004-PCM.

¹¹ Cf. Artículo 22° del Reglamento de la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos, aprobado por Decreto Supremo N° 057-2004-PCM.

¹² Cf. Artículo 82° del Reglamento de la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos, aprobado por Decreto Supremo N° 057-2004-PCM.

¹³ Cf. Artículo 24° y la Décima Disposición Complementaria, Transitoria y Final del Reglamento de la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos, aprobado por Decreto Supremo N° 057-2004-PCM.

Su disposición final se realiza en rellenos de seguridad, los que pueden ser de dos tipos, de conformidad con el Artículo 83° del Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos:

- ✓ Relleno de seguridad para residuos peligrosos, en donde se podrán manejar también residuos no peligrosos.
- ✓ Relleno de seguridad para residuos no peligrosos.

2.1.1.2. ETAPAS DEL MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS

Según lo establece la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos, exige que los residuos sólidos sean manejados a través de un sistema que incluya, según corresponda, las siguientes operaciones o procesos, los cuales describimos a continuación.

A. Minimización de Residuos Sólidos

Se define como la acción de reducir al mínimo posible el volumen y peligrosidad de los residuos sólidos, a través de cualquier estrategia preventiva, procedimiento, método o técnica utilizada en la actividad generadora.

B. Generación de Residuos Sólidos

Referida a la cantidad de residuos sólidos que se generan al día; este es el primero y más decisivo componente para determinar el potencial energético.

Para estimar la generación de los residuos se necesitan conocer los siguientes factores:

- ✓ **Población:** Referido a la cantidad de habitantes de una determinada área geográfica.
- ✓ **Generación per cápita (GPC):** Que viene hacer la composición de los residuos sólidos, la cual varía de acuerdo al nivel socioeconómico de la población.

En áreas de nivel socioeconómico más bajo se genera más residuos orgánicos, papel y catón. En áreas de nivel más alto, en cambio, hay más materia inorgánica en la basura, tales como latas de aluminio, envases de vidrio, envases y empaques plásticos y orgánicos como restos de jardinería, que no se dan en niveles más bajos.

C. Segregación de Residuos Sólidos

Es la acción de agrupar determinados componentes o elementos físicos de los residuos sólidos para ser manejados en forma especial; está permitida en la fuente de generación o en la instalación de infraestructura de reaprovechamiento de residuos sólidos. El instituto de la defensa de la competencia y de la protección de la propiedad intelectual (INDECOPI) ha aprobado la norma técnica NTP 900.058, la cual establece los colores a ser utilizados en los dispositivos de almacenamiento de residuos, con el fin de asegurar la identificación y segregación de los mismos. Siendo para residuos reaprovechables no peligrosos los siguientes:

- ✓ **Amarillo:** Para metales (latas de conservas, café, leche, gaseosa, cerveza, etc., tapas de metal, envases de alimentos y bebidas, etc.)

- ✓ **Verde:** Para vidrio (botellas de bebidas, licor, cerveza, vasos, envases de alimentos, perfumes, etc.)
- ✓ **Azul:** Para papel y cartón (periódicos, revistas, folletos, catálogos, impresiones, fotocopias, papel, cajas de cartón, sobres, guías telefónicas, cajas de cartón, etc.)
- ✓ **Blanco:** Para plástico (envases de yogurt, leche, alimentos, etc., vasos, platos y cubiertos descartables, botellas de bebidas gaseosas, aceites comestibles, detergente, shampoo, empaques o bolsas de fruta, verduras, huevos entre otros.
- ✓ **Marrón:** Para orgánicos (restos de preparación de alimentos, de comida, de jardinería o similares).

Como podemos observar el número y colores de recipiente para la segregación de residuos se encuentra debidamente normado, sin embargo para efectos de iniciar el proceso de segregación de residuos en el nivel domiciliario, se podrían utilizar recipientes que diferencien sólo dos tipos de residuos, orgánicos e inorgánicos, así mismo sólo se utilizarían dos colores, de preferencia marrón para el residuo orgánico y verde para el inorgánico.

D. Reaprovechamiento de Residuos Sólidos

Es el proceso para volver a obtener un beneficio del bien, artículo, elemento o parte del mismo que constituye el residuo sólido. Se reconoce como técnica de reaprovechamiento: el reciclaje, recuperación o reutilización.

E. Almacenamiento de Residuos Sólidos

Se refiere a los medios y los métodos usados para guardar y mantener los residuos de forma temporal. Los residuos deben ser acondicionados de acuerdo a su naturaleza física, química y biológica, considerando sus características de peligrosidad, su incompatibilidad con otros residuos, así como las reacciones que puedan ocurrir con el material del recipiente que lo contiene.

F. Barrido

Es la limpieza de las vías públicas y la recolección manual o mecánica de los residuos sólidos depositados en ellas.

G. Recolección de Residuos Sólidos

Es el proceso por el cual un residuo sólido es recepcionado para su posterior disposición, transformación o reutilización. La recolección de residuos sólidos puede realizarse de manera manual o mecánica. En esta etapa podemos encontrar dos aspectos claves:

- ✓ **Frecuencia de Recolección:** Está en función de la generación per cápita (G.P.C), clima y capacidad del vehículo.
- ✓ **Frecuencia Mínima de Recolección:** De residuos sólidos putrescibles, dos veces por semana; de residuos sólidos no putrescibles; depende de la capacidad de almacenaje, G.P.C y capacidad de personal para levantar constantemente pesados.

H. Comercialización de Residuos Sólidos

Este proceso constituye una herramienta de apoyo hacia las acciones de venta y colocación de los residuos sólidos con valor de cambio. La comercialización, se basa en el trabajo sobre el producto, el mercado, el precio, la publicidad y promoción, colocación estratégica en los puntos de venta y distribución.

I. Transporte de Residuos Sólidos

Es la acción de trasladar los residuos de un lugar a otro, esta acción está reglamentada según la naturaleza del residuo que se transporta. Las operaciones de transporte de residuos sólidos fuera de las instalaciones del generador, debe ser realizada por la municipalidad si se trata de residuos exclusivamente del ámbito municipal, por una empresa prestadora de servicios (EPS-RS) o por una empresa comercializadora (EC-RS) con fines exclusivos de comercialización.

J. Tratamiento de Residuos Sólidos

Es cualquier proceso, método o técnica que permita modificar la característica física, química o biológica del residuo sólido, que se realiza con el fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente.

K. Transferencia de Residuos Sólidos

Es la técnica o procedimiento para el almacenamiento temporal de los residuos sólidos que luego deberán continuar con su transporte hacia un lugar autorizado para su disposición final.

L. Disposición Final de Residuos Sólidos

Es el proceso u operación para tratar o disponer en un lugar los residuos sólidos como última etapa de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura.

2.1.1.3. CARACTERISTICAS 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.

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

Dónde:

GTRSD = Generación total de residuos sólidos del distrito.

B. Composición

Básicamente trata de identificar en una base másica o volumétrica los distintos componentes de los residuos. Usualmente los valores de composición de los residuos municipales o domésticos se describen en términos de porcentaje en masa, también usualmente en base húmeda y contenidos ítems como materia

orgánica, papeles y cartones, escombros, plásticos, textiles, metales, vidrios, huesos, etc.

La cantidad y calidad de los residuo sólidos pueden variar de manera significativa a través del año. Comúnmente los climas temperados, la cantidad media diaria, semanal y mensual de residuos, están sobre la media anual durante los meses de verano. Esto es atribuible en parte al aumento de la basura orgánica (por hábitos y disponibilidad para el consumo), además de las probables actividades de mejoramiento urbano comúnmente realizados en esta época. En lugares donde la actividad de mejoramiento durante los meses de temporada de vacaciones puede aumentar en varias veces la media anual, aumentando la proporción de residuos domésticos y comerciales.

En lugares donde la generación de residuos sólidos industriales representa un porcentaje importante del total, el patrón de generación queda determinado por el tipo de industrias presentes.

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

$$\text{Porcentaje (\%)} = \frac{(P_i) \cdot 100}{W_t} \quad (3)$$

Dónde:

P_i = Peso de cada componente en los residuos.

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

C. Densidad

La densidad de los sólidos depende de su constitución y humedad, por lo que este valor se debe medir para tener un valor más real. Se deben distinguir valores en distintas etapas del manejo.

- ✓ **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:

$$S = \frac{W}{V} = \frac{W}{\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 H} \quad (4)$$

Dónde:

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

W = Peso de los residuos sólidos

V = Volumen del residuos 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:

CUADRO N° 02: Densidad de Residuos Sólidos Urbanos

Residuos Sólidos	Densidades
------------------	------------

	Kg/m³
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.

$$\text{Humedad} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad (5)$$

Se expresa en porcentaje:

- ✓ 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 residuos¹⁴.

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,

¹⁴ Ing. Diego Moratorio; Universidad de Montevideo.

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 manera¹⁵:

$$\text{PCI} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) = 8.14C + 29.000 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2.220S - 600 \text{H}_2\text{O} \quad (6)$$

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 siguiente¹⁶:

$$\text{PCI} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) = \text{PCS} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) - 597 (9H + \text{H}_2\text{O}) \quad (7)$$

2.1.2. VALORIZACION ENERGETICA

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).

¹⁵ Ing. Diego Moratorio; Universidad de Montevideo.

¹⁶ Ing. Diego Moratorio; Universidad de Montevideo.

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.

2.1.2.1. PROCESOS DE CONVERSION

Existen básicamente dos procesos de conversión de los residuos a energía, estos son los del Tipo Biológico y los del Tipo Térmico.

Los primeros son efectuados por bacterias mediante el proceso de digestión anaeróbica, donde se descomponen de manera natural la parte orgánica de los residuos en ausencia de aire. Este proceso ocurre en rellenos sanitarios y sitios no controlados, así como en tanques o reactores, donde se acelera el proceso anterior, en la que se genera una mezcla de gases mejor conocida como Biogás, cuyo

principal componente es el metano (CH_4) que es el segundo gas de efecto invernadero más importante, equivalente a 21 veces el bióxido de carbono.

Los procesos de tratamiento térmico son la incineración, la gasificación, la pirólisis o la gasificación por plasma. Cada una de estas se encuentra en un estado de desarrollo de distinto nivel.

Estas posibles alternativas pueden coexistir en un mismo modelo de gestión de los residuos. De todas formas, a la hora de seleccionar una tecnología deben tenerse en cuenta algunos aspectos fundamentales como son, entre otros, los siguientes:

- ✓ El tipo de residuo o mezcla de residuos a valorizar energéticamente,
- ✓ Que la tecnología sea flexible, es decir, que sea capaz de responder ante variaciones en las características de los residuos, los cuales presentan normalmente una gran heterogeneidad en su composición,
- ✓ La experiencia y madurez de la tecnología en aplicaciones de las mismas características a las que se quiere implantar,
- ✓ La viabilidad económica.

Podemos decir que de todas las alternativas indicadas, la incineración, la digestión anaerobia y la co-incineración en algunas aplicaciones industriales, son las más probadas y desarrolladas en su aplicación. La gasificación, pirólisis y gasificación por plasma presentan, en comparación con las anteriores, menos referencias a nivel industrial, aunque sí hay una tendencia creciente en implantarse instalaciones de estas tecnologías, debido a las expectativas que en teoría ofrecen

de poder conseguir más rendimiento energético y a la baja aceptación a nivel social de la incineración.

Por otro lado, cabe comentar que la incineración y la co-incineración de los residuos en instalaciones industriales con uso intensivo de energía tienen un amplio margen de desarrollo a nivel mundial sobre todo en la Unión Europea.

A. CONVERSIÓN BIOLÓGICA

Las transformaciones biológicas de la fracción orgánica de los RSU se pueden utilizar para reducir el volumen y el peso del material; para producir Compost y para producir Metano.

Los principales organismos implicados en las transformaciones biológicas de residuos orgánicos son bacterias, hongos, levaduras y actinomicetos. Estas transformaciones pueden realizarse aerobiamente o anaerobiamente, según la disponibilidad de oxígeno. Las principales diferencias entre las reacciones de conversión aerobia y anaerobia están en la naturaleza de los productos finales, y en el hecho de que sea necesario suministrar oxígeno para realizar la conversión.

Los procesos biológicos que se han utilizado para la conversión de la fracción orgánica de los RSU son el compostaje aerobio, la digestión anaerobia y el vertido.

i. Compostaje Aerobio

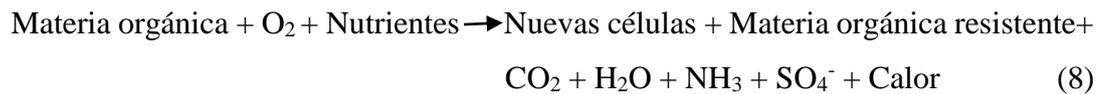
Si se abandona, la fracción orgánica de los RSU sufrirá descomposición biológica.

La extensión y el periodo de tiempo necesario para que se produzca la

descomposición dependerán de la naturaleza del residuo, del contenido de humedad, de los nutrientes disponibles, y de otros factores ambientales.

Bajo condiciones controladas, los residuos de jardín y la fracción orgánica de los RSU se pueden convertir en un residuo orgánico estable conocido como compost en un periodo de tiempo razonablemente corto (de cuatro a seis semanas).

El compostaje de la fracción orgánica de los RSU en condiciones aerobias se puede representar por la siguiente ecuación:



En la ecuación, los principales productos finales son: nuevas células, materia orgánica resistente, dióxido de carbono, agua, amoníaco y sulfato.

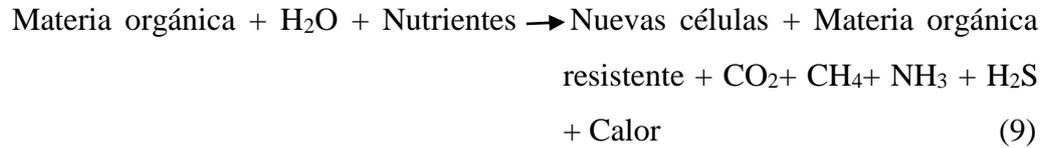
El compost es la materia orgánica resistente que permanece y que normalmente contiene un alto porcentaje de lignina, que es difícil de convertir biológicamente en un periodo de tiempo relativamente corto.

La lignina, que se encuentra principalmente en el papel de periódico, es el polímero orgánico que une las fibras celulósicas en los árboles y algunas plantas.

ii. Digestión Anaerobia

La porción biodegradable de la fracción orgánica de los RSU se puede convertir biológicamente bajo condiciones anaerobias en un gas que contiene dióxido de

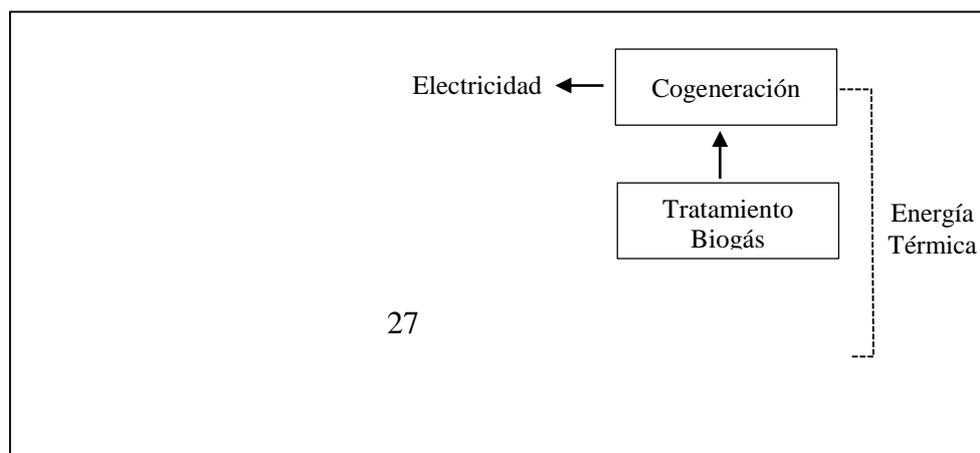
carbono y metano (CH₄). Esta conversión se puede representar con la siguiente ecuación:



De esta forma, los principales productos finales son: dióxido de carbono, metano, amoníaco, sulfuro de hidrógeno y materia orgánica resistente.

En la mayoría de los procesos de conversión anaerobios, el dióxido de carbono y el metano constituyen más del 99% del gas total producido.

La materia orgánica resistente (o lodos digeridos) debe ser deshidratada antes de evacuarse mediante su extensión en el suelo o mediante vertido. Estos lodos deshidratados a menudo son compostados aerobiamente para aumentar su estabilización, antes de su aplicación.



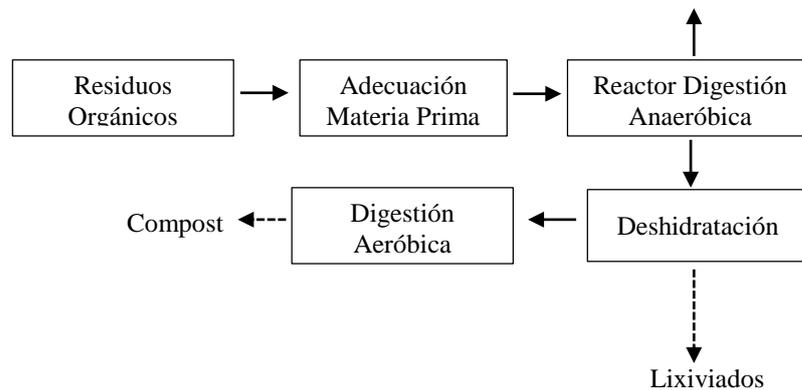


Gráfico N° 01: Esquema proceso de Digestión Anaerobia

Fuente : Situación y potencial de valorización energética directa de residuos. Estudio Técnico PER 2011-2020

iii. Vertedero

El relleno sanitario como toda obra de ingeniería, tiene que ser planteado y diseñado previamente para asegurar su correcta construcción y operación. Está formado por una trinchera natural o artificial que debe ser preparada mediante compactación, impermeabilización y nivelación, de tal manera que puedan instalarse los sistemas de drenaje, bombeo de lixiviados, extracción y captura de biogás. Una vez depositado los residuos, debe cubrirse con material que permita, por un lado, la mayor recuperación posible de biogás y evite la fuga por los costados y la atmósfera, y por el otro, que evite la entrada de aire y agua de lluvia al relleno. El biogás generado en los rellenos sanitarios es una mezcla de gases que contiene un 40-70% de metano, 30-60% de bióxido de carbono y en menores cantidades: oxígeno, nitrógeno, vapor de agua y ácido sulfhídrico, así como una gran variedad de gases en cantidades traza. Este biogás es conducido hacia la central eléctrica, compuesta generalmente por módulos de 1MW de capacidad, a

del relleno sanitario de Huaycoloro. La energía suministrada representa el 19.75% de la energía proveniente de la biomasa, adicionalmente el proyecto reducirá 14,485 t CO₂ anuales por generación de electricidad, mitigando el calentamiento global.

El modelo desarrollado por Petramas pone en valor al relleno sanitario Huaycoloro, lanzando al mercado el concepto de servicio de disposición final (vertedero) sostenible de los residuos sólidos.

Este modelo es respaldado por el banco mundial, como un modelo exitoso de gestión integral de residuos sólidos por la alta calidad de sus servicios a costo social y su contribución significativa para la mitigación y adaptación frente al cambio climático y con su contribución con energía renovable a la matriz energética nacional.

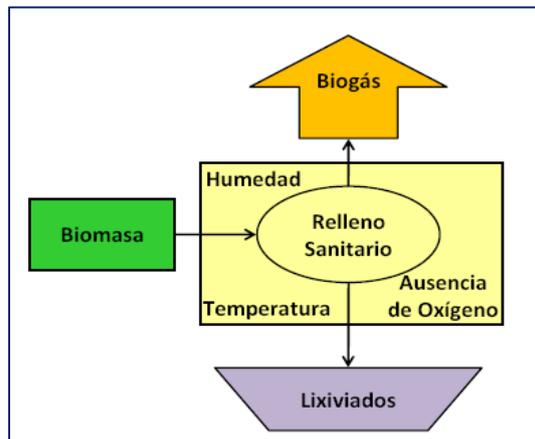


Figura N° 02: Proceso Generación de Biogás

Fuente : PETRAMAS.



Figura N° 03: Central Térmica Biomasa – Huaycoloro.
Fuente : PETRAMAS.

La disposición de residuos sólidos en muchas ciudades de LAC¹⁹ se hace desde hace bastante tiempo en botaderos a cielo abierto. Sin embargo, con el paso del tiempo la utilización de rellenos sanitarios se ha incrementado debido a que se han establecido normativas que así lo exigen, y a que la experiencia de naciones más desarrolladas y de casos concretos que se están realizando en LAC muestran que disponer los residuos sólidos de esta manera, permiten obtener créditos económicos.

La rentabilidad económica de los proyectos de generación de energía eléctrica a partir de la basura es cada vez mayor porque la entrada en vigencia del PK²⁰ ha generado nuevas posibilidades de generar ingresos, y ha mejorado las condiciones en el mercado del carbono.

No obstante, la realización de este tipo de proyectos es aún incipiente en muchas ciudades de LAC, debido en parte a que existen elevados costos de análisis tanto

¹⁹ LAC Latinoamérica y el Caribe.

²⁰ PK Protocolo de Kyoto.

para determinar el potencial aproximado de un relleno sanitario para generar biogás y energía, como para valorar los beneficios económicos que pueden obtenerse de este tipo de proyectos, en especial para comprender el procedimiento para beneficiarse de los ingresos derivados del MDL²¹.

B. CONVERSIÓN TÉRMICA

i. Incineración

Es un proceso exotérmico durante el cual se precisa suministrar al combustible oxígeno para que tenga lugar la combustión del mismo, quedando como principales productos resultantes de la combustión el CO₂ y el H₂O.

El rango de temperaturas a las que tiene lugar la combustión de los residuos se sitúa entre 850 a 1500°C, dependiendo del combustible y de la configuración física del combustor (Alonso et al 2003).

La incineración es un procedimiento que se utiliza para tratar residuos sólidos urbanos, este sector ha experimentado un rápido desarrollo ya que se han reducido sosteniblemente las emisiones gaseosas debido a la legislación de los países donde se desarrolla esta actividad y a que se han adoptado técnicas que evitan la contaminación producto de la combustión.

El principal objetivo de la incineración de los residuos sólidos urbanos es la reducción de su volumen y peligrosidad, como segundo objetivo es recuperar el

²¹ MDL Mecanismo de Desarrollo Limpio.

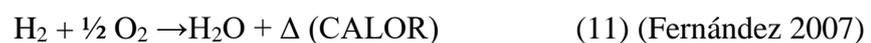
poder energético de estos para generar energía eléctrica y como tercer objetivo es el alargar la vida útil de los rellenos sanitarios.

Cuadro N° 03: Funciones de una Planta de Incineración

Proceso	Equipo
Dstrucción de sustancias orgánicas	Horno
Evaporación de agua	
Evaporación de sales inorgánicas y metales pesados volátiles	
Producción de escoria potencialmente explotable	
Reducción del volumen de residuos	
Recuperación de energía aprovechable	Sistema de Recuperación de energía
Eliminación y concentración de materia orgánica y metales pesados volátiles en residuos sólidos, como residuos de limpieza de gases de combustión o lodo de tratamiento de aguas residuales	Sistema de limpieza de los gases de combustión
Minimización de las emisiones a todos los medios	

Fuente: Ministerio De Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. España (2011).

La combustión es un proceso químico en el cual la materia combustible sufre una rápida oxidación con desprendimiento de calor se precisa que el residuo a oxidar tenga al menos carbono, hidrógeno y azufre, que al combinarse con el oxígeno liberen calor:

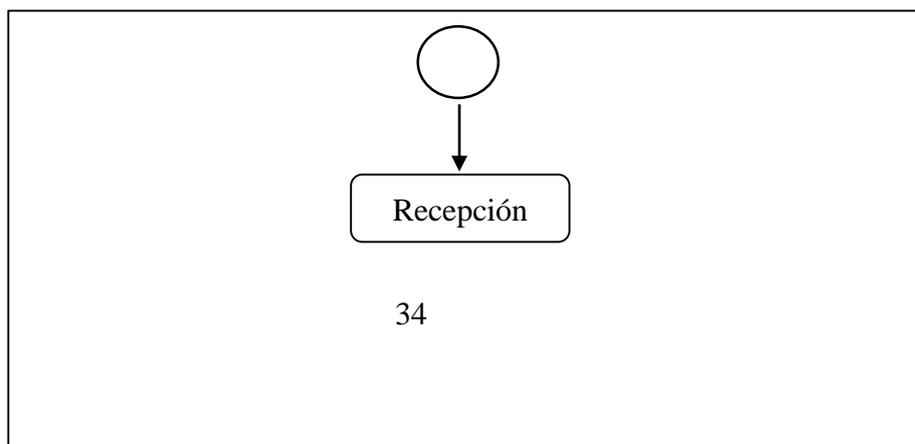


Los residuos sólidos urbanos están compuestos por gran cantidad de carbono, pero no poseen cantidades de hidrógeno y azufre suficientes para que tengan un poder

calórico comparable al de los hidrocarburos. Este proceso se aplica a residuos sólidos que tengan un poder calórico inferior, medio y alto.

La incineración se realiza en plantas construidas para el tratamiento térmico de residuos. En estas plantas los residuos sólidos sirven para generar energía eléctrica, mediante la producción de vapor que mueve una turbina que impulsa un generador eléctrico. Altos contenidos de humedad y materia orgánica en los residuos reducen su poder calórico, esta técnica no resulta conveniente en zonas con alta pluviosidad o climas húmedos. La incineración reduce el peso de los residuos entre el 70 a 75% y el volumen hasta un 90 – 95%. Los subproductos generados de este proceso escorias y cenizas pueden ser conducidas a un relleno sanitario o pueden ser utilizadas como materiales o agregados para la construcción. Este proceso es blanco de cuestionamientos por parte de la comunidad debido a que en la incineración de residuos se generan sustancias tóxicas como dioxinas, furanos y metales pesados.

Debido a la gran cantidad de gases generados producto de la combustión y las exigencias ambientales para evitar la contaminación, el costo de los sistemas de depuración de gases tienen un valor entre el 15 y 25% del costo de los equipos de una nueva instalación, por tal razón las plantas incineradoras deben buscar la máxima eficiencia energética más o menos de 500 kW/h por tonelada de desechos incinerados (OLADE, 1996).



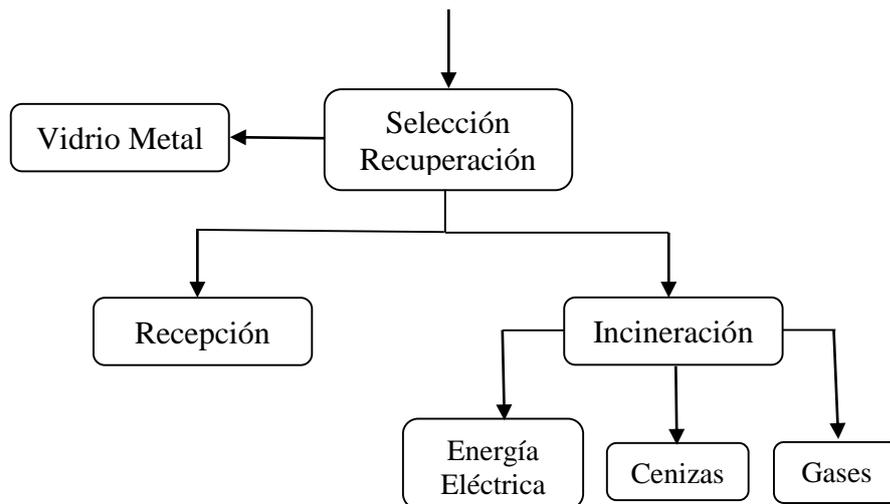


Gráfico N° 02: Diagrama de Flujo de una Planta de Incineración con Reciclaje Parcial, Compostaje y Generación de Energía Eléctrica.
Fuente : OLADE 1996.

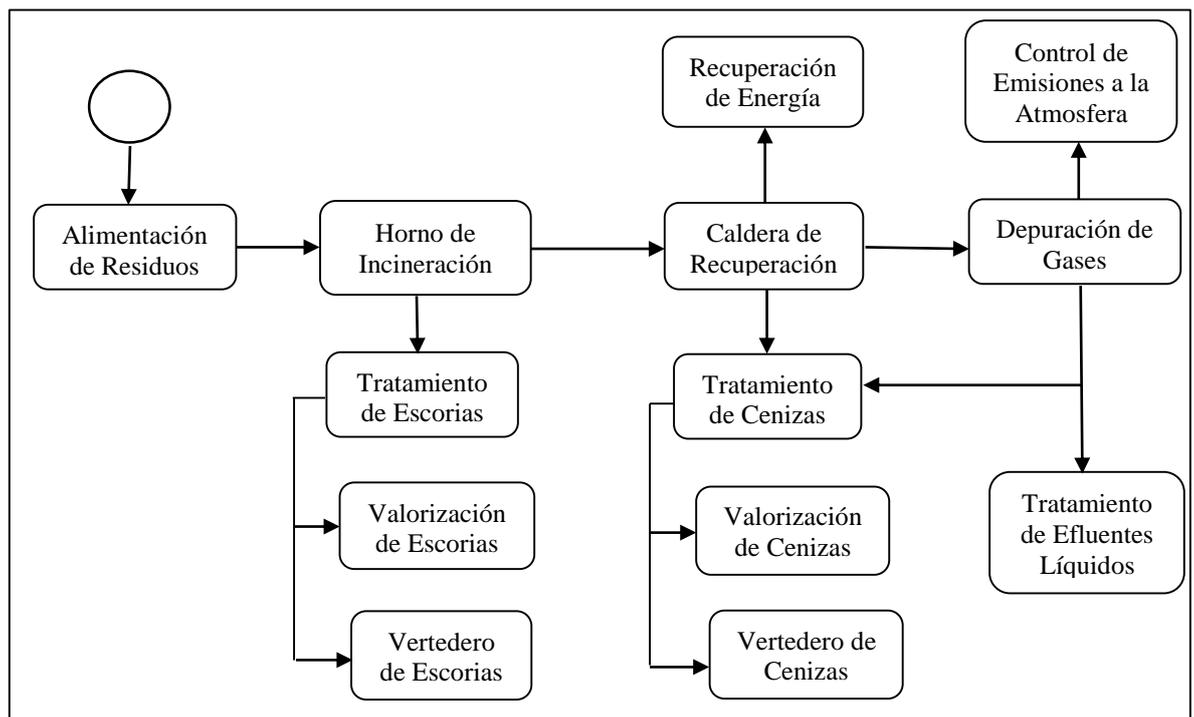


Gráfico N° 03: Diagrama de Flujo de una Planta de Incineración.
Fuente : ROMERO 2010.

Como resultado del proceso de incineración se obtiene:

- ✓ **Gases de combustión:** compuesto principalmente por CO₂, H₂O, O₂ no reaccionado, N₂ del aire empleado para la combustión y otros compuestos

en menores proporciones procedentes de los diferentes elementos que formaban parte de los residuos. Los componentes minoritarios presentes dependerán de la composición de los residuos tratados. Así pues, pueden contener gases ácidos derivados de reacciones de halógenos, azufre, metales volátiles o compuestos orgánicos que no se hayan oxidado. Finalmente, los gases de combustión contendrán partículas, que son arrastradas por los gases.

- ✓ **Residuo sólido:** compuesto fundamentalmente por escorias inertes, cenizas y residuos del sistema de depuración de los gases de combustión.

El proceso global convierte prácticamente toda la energía química contenida en el combustible en energía térmica, dejando una parte de energía química sin convertir en gas de combustión y una muy pequeña parte de energía química no convertida en las cenizas. El aprovechamiento del calor de ese proceso se realiza mediante la generación de vapor de agua recalentado, con rendimientos térmicos del orden del 80%, debido a las pérdidas caloríficas tanto en el horno como en la caldera y por la temperatura mínima de salida de los gases de combustión de la caldera de recuperación.

El uso posterior del vapor, para la obtención de energía mecánica y eléctrica, tiene limitaciones en el rendimiento por razones termodinámicas en los ciclos térmicos en los que interviene el vapor, lo que supone una pérdida muy importante de energía en el foco frío del ciclo térmico.

Según el tipo de horno de combustión que se utilice se puede diferenciar entre: incineración en horno de parrilla, incineración en horno rotativo, o incineración

en lecho fluido. Se describen a continuación los tres tipos de sistemas más utilizables.

- **Incineración en Horno de Parrilla**

Es una tecnología que tiene más de 100 años de vigencia que ha demostrado fiabilidad y flexibilidad en su funcionamiento, tiene la capacidad de procesar de 3 a 50 t/h, con la posibilidad de tratar residuos con poder calorífico inferior que oscila entre 1400 – 4500 kcal/kg sin añadir combustible auxiliar (Pala, 2006).

El horno está conformado por una tolva de carga donde se reciben los residuos sólidos en masa o procedentes como rechazo de las plantas de pretratamiento. Se almacena en un foso con capacidad para tres días de alimentación para los hornos de esta manera se garantiza un funcionamiento continuo (Fernández, 2007).

La tolva desemboca en la parrilla del horno a través de un conducto aislado térmicamente y dotado de una válvula antirretorno para independizar la tolva de la parrilla. Al final del conducto de alimentación se sitúa los alimentadores del horno, que son placas movidas por un sistema hidráulico con movimientos alternativos adelante/atrás y que introducen el residuo al horno (IDEA, 2011).

Se llama parrilla al suelo del horno formado por líneas de tejas que se mueven alternativamente por el sistema hidráulico, tipo biela/manivela y permiten avanzar al residuo dentro del horno. De esta manera se consigue que los residuos se desmenucen dentro del horno y se pongan en contacto con el aire combustible, que ingresa a través de las ranuras del suelo.

Antes de introducir los residuos en el horno se debe precalentarlo hasta una temperatura superior a los 850 °C. Luego se introducen los residuos donde se presentan diferentes fases:

- ✓ **Secado:** Al entrar el residuo al horno, este se seca por medio de aire precalentado del calor por radiación proveniente de las paredes de las calderas o por el calor proveniente de los gases de combustión, la humedad se elimina a temperaturas que están entre 50 y 100 °C.
- ✓ **Pirolisis – Gasificación:** Por la parte inferior ingresa aire, pero en pequeña cantidad, por lo cual hay defecto de oxígeno y por lo tanto tiene lugar la gasificación, emitiendo un gas combustible que se quema en la parte superior del horno, al recibir oxígeno por la entrada de aire y generando calor.

En esta etapa el residuo sufre una descomposición térmica, se produce material volátil que conforma entre el 70 – 90% de los residuos sólidos urbanos, esta etapa se desarrolla entre los 200 – 750 °C.

A medida que avanza el residuo en la parrilla disminuye la altura de la capa de residuo paralelamente recibe más aire produciéndose combustión y llama, debido a que la caldera se encuentra entre 750 – 1000 °C que supera a la temperatura de ignición de los volátiles derivados de los residuos (Moltó, 2007).

El material volátil está constituido por H_2 , CO , CH_4 , C_2H_5 , vapor de agua y fracción hidrocarbonada compleja. Estos hornos se diseñan con el objeto de mezclar y desmenuzar los residuos con el propósito de que se dé una combustión adecuada y lograr que todo el carbono pase a CO_2 , y se libere toda su energía. Al final de la parrilla queda material incombustible que sale a alta temperatura por el fondo de la parrilla como escoria y cae a un baño de agua donde se enfría. Este residuo se envía para que sea tratado y reciclar elementos metálicos.

Las escorias se reutilizan en obra civil o plantas cementeras, el tiempo de permanencia del residuo dentro del horno de parrilla es de 45 a 90 minutos. Para lograr una buena combustión de los residuos se debe controlar: cantidad de aire, cantidad de residuos y velocidad de avance del residuo. El producto del poder calorífico por la cantidad de residuo alimentado es la carga térmica que debe procesar la parrilla entre 400000 – 800000 kcal/m²/h, equivalente a 200 - 340 kg/m²/h, dependiendo del poder calórico inferior del residuo entrante (FENERCOM, 2010). La nueva tecnología de estos hornos enfrían las tejas del suelo mediante agua fría que las recorre interiormente de esta manera puede procesar residuos sólidos urbanos de mayor poder calorífico inferior (P.C.I.), hasta 4500 kcal/kg, las paredes del horno se forran con refractario por dentro permitiendo que al exterior no sobrepase valores de 40 °C (FENERCOM, 2010).

➤ **Residuos Más Apropriados**

Los hornos de parrilla son muy flexibles en operación frente a combustibles heterogéneos, por lo que pueden tratar RSU, residuos industriales, lodos de depuradoras o residuos hospitalarios. En el caso concreto de RSU, su aplicación es tan amplia y probada, y el funcionamiento es tan robusto que en Europa el

90% de las instalaciones de tratamiento de RSU, usan hornos de parrilla con capacidades de tratamiento elevadas (hasta 30 t/h).

➤ **Ventajas**

La incineración en horno de parrilla es la más extendida y más desarrollada de todos los tipos de incineración de residuos, por su capacidad de poder tratar una gran variedad de residuos y sin ser necesario un pretratamiento previo de estos. Únicamente se aplica una trituración previa a la alimentación al horno para reducir el tamaño y homogeneizar el material combustible.

➤ **Inconvenientes**

En cuanto a sus limitaciones de aplicación, la incineración en horno de parrilla no es idónea para partículas, líquidos o materiales que pueden fundirse en la parrilla.

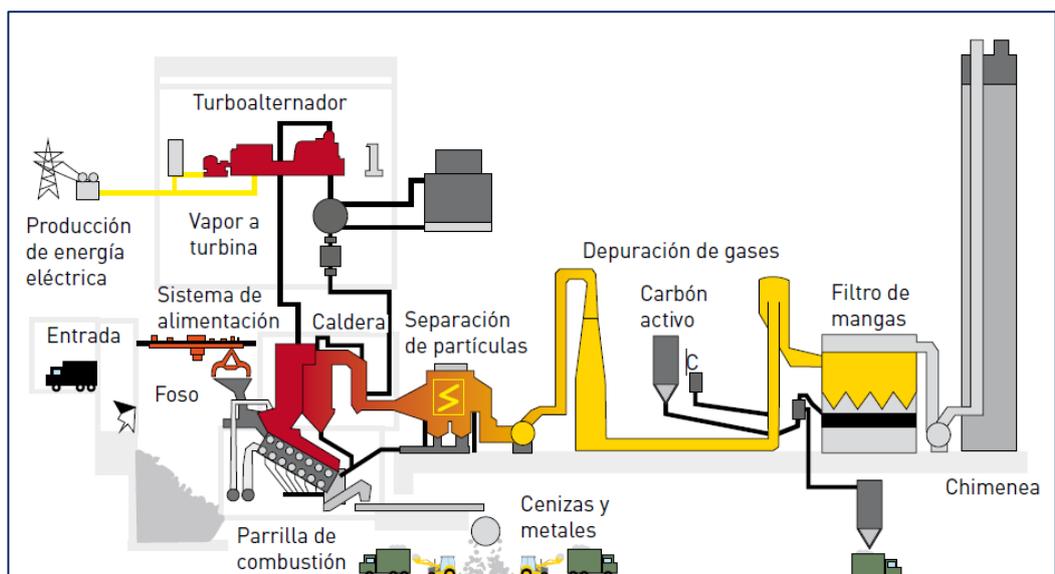


Figura N° 04: Esquema de Incineración en Horno de Parrilla
Fuente : RESA 2011

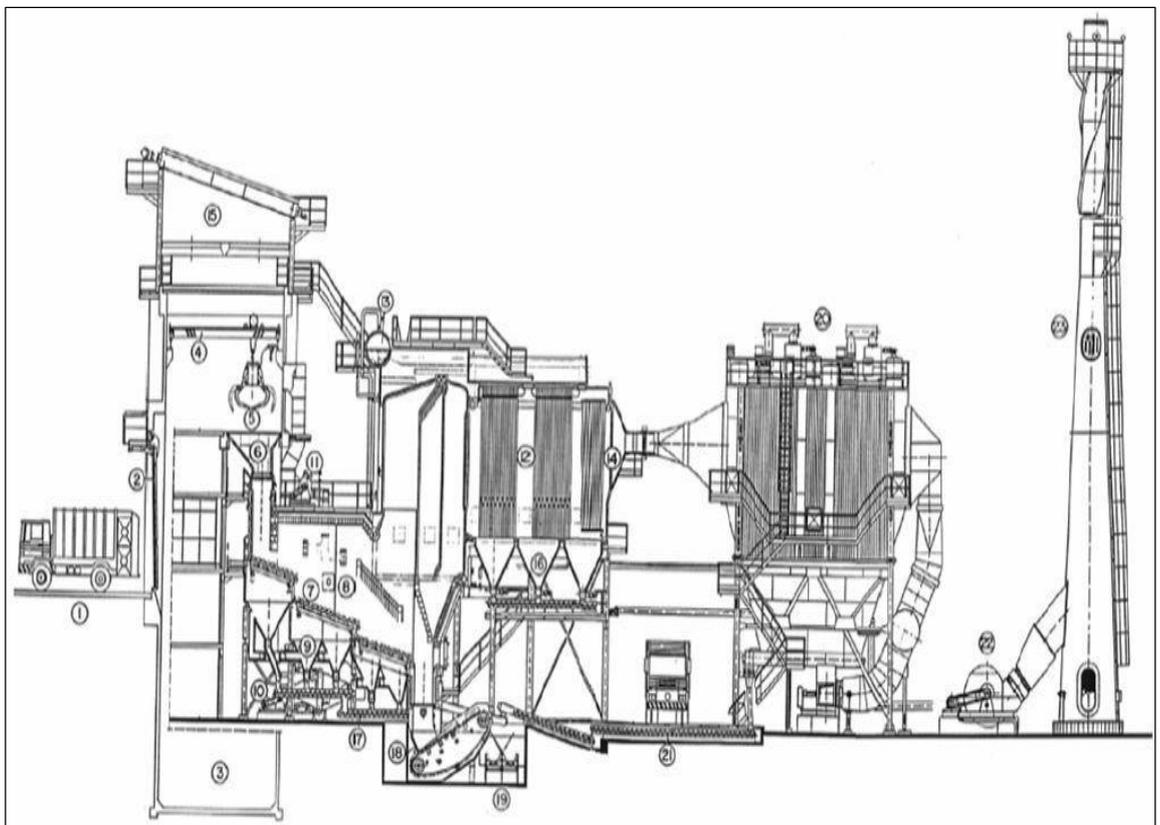


Figura N° 05: Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos
Fuente : RECICLAME 2015

Leyenda: Plataforma de descarga.

1. Puertas de la fosa.
2. Fosa de basura.
3. Puente – grúa.
4. Cuchara de trasvase.
5. Tolva de alimentación.
6. Parrillas quemadoras.
7. Cámara de combustión.
8. Tolvas de evacuación de las cenizas.

9. Ventilador primario.
10. Ventilador secundario.
11. Caldera de recuperación.
12. Calderón de vapor.
13. Economizador.
14. Aerocondensador.
15. Tolvas de evacuación de las cenizas.
16. Cadenas sinfín de cenizas del horno.
17. Canal de evacuación de escorias.
18. Cintas transportadoras de cenizas y escorias.
19. Electrofiltro.
20. Cadenas sinfín de evacuación de cenizas del electrofiltro.
21. Ventilador de tiro.
22. Chimenea de evacuación de gases.

- **Incineración en Horno Rotativo**

Sistema de incineración antiguo que incinera residuos heterogéneos, está formado por un cilindro casi horizontal ligeramente inclinado para facilitar el desplazamiento de los residuos, cubierto por refractario en su interior, que gira en su eje alrededor a unas 10 revoluciones por minuto, en este horno se puede controlar la combustión ya que se puede regular la velocidad de las revoluciones y el tiempo de permanencia del combustible. Para conseguir una buena combustión de los residuos, se requiere un tiempo de permanencia de los residuos de entre 30 y 90 minutos.

En estos hornos se puede incinerar cualquier residuo debido a esto se los utiliza para tratar residuos peligrosos, los residuos antes de ser introducidos en este tipo de hornos deben ser previamente triturados para obtener una mayor eficiencia en la combustión. Debido a que son sistemas cerrados también se puede introducir residuos con gran porcentaje de humedad. Al trabajar a temperaturas altas se tiene el riesgo de dañar el material refractario de las paredes del horno por estrés

térmico, por lo que algunos hornos tienen una camisa refrigerada (por aire o agua), que ayuda a alargar la vida del material de las paredes, y disminuir el tiempo entre paradas producidas para el mantenimiento del horno. Los gases generados producto de la combustión son conducidos a una cámara de postcombustión donde logran la temperatura necesaria para la combustión de los compuestos orgánicos. El diámetro del cilindro del horno está entre 1,5 – 4,5 m y su longitud entre 10 – 15 m (García, et, al 2013).

➤ **Residuos Más Apropriados**

En los hornos rotativos se puede incinerar prácticamente, cualquier residuo, independientemente de su tipo o composición. Aun así, y dadas las condiciones de la combustión, su aplicación actual está dirigida al tratamiento de residuos peligrosos (por ejemplo residuos clínicos), por lo que el tratamiento de RSU es minoritario. El pretratamiento aplicable consistiría en una trituración previa.

➤ **Ventajas**

Los hornos rotativos pueden tratar casi cualquier residuo, pero serán difíciles de regular (temperatura) sin consumir combustible auxiliar, lo que encarece su explotación.

➤ **Inconvenientes**

Son difíciles de escalar para grandes capacidades, ya que requieren grandes diámetros y por último, requerirán importantes costes de mantenimiento o

materiales especiales (de fuerte coste económico) en los casos en que por la temperatura se produjera fusión de escorias.

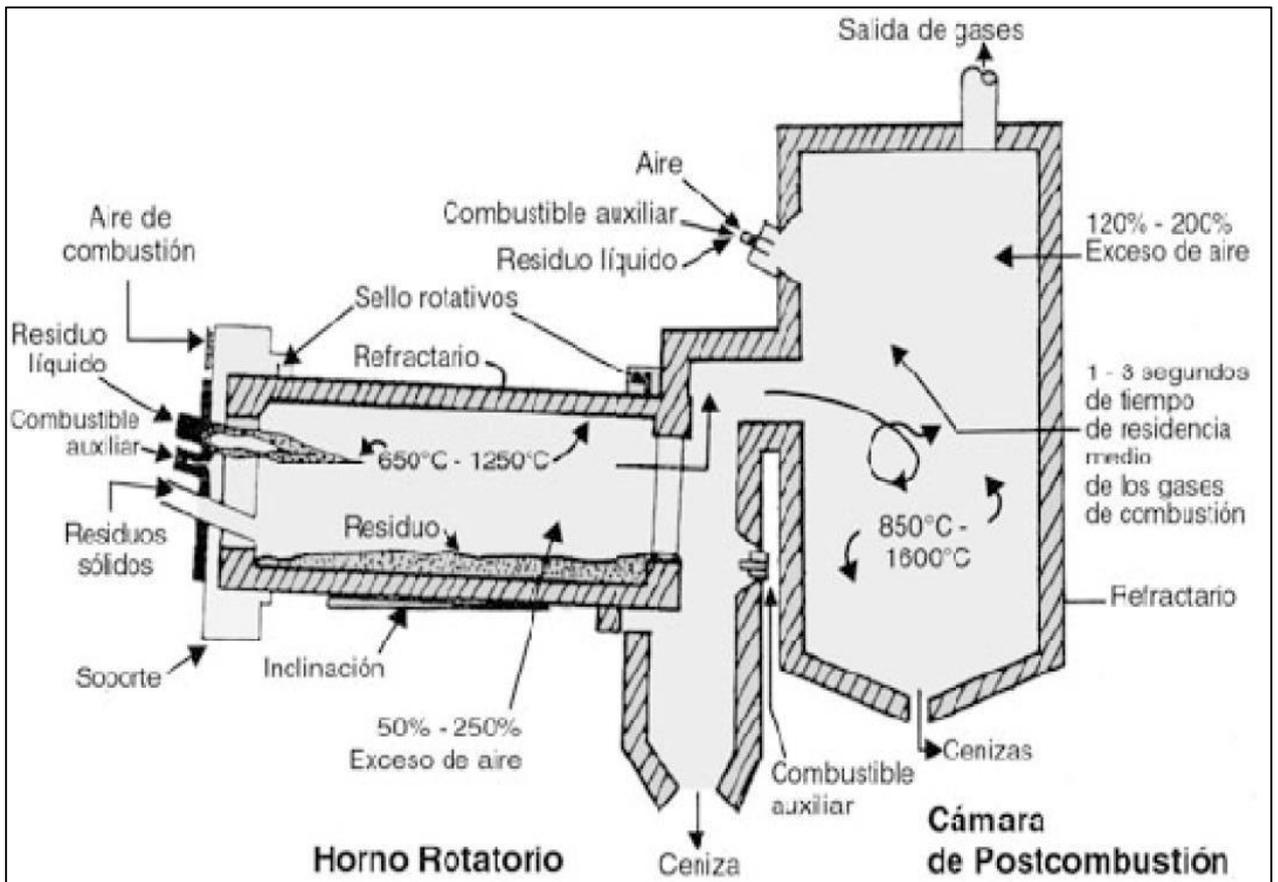


Figura N° 06: Esquema Horno Rotativo de Incineración.
Fuente : Centro de Tecnologías Limpias 2008

- **Incineración en Horno de Lecho Fluido**

Está constituido por una cámara cilíndrica y vertical en la parte inferior se deposita el material de lecho, el residuo debe ser de tamaño pequeño y esférico, que pueda fluir cuando se introduzca el gas para el efecto; generalmente el material del lecho es arena silíceo y caliza.

Este horno permite emisiones gaseosas por debajo de los límites establecidos. Se tienen dos tipos de lecho fluidizado que están en función de la velocidad y la presión a la que se inyecta el aire y de cómo se mueve la arena en el interior del horno (Fernández, 2007). El aire usado en la fluidización, recibe el nombre de primario, y se introduce por la parte inferior del lecho. Aparte de fluidizar el lecho, actúa como comburente.

El aire, denominado secundario, es el que se usa para la combustión completa de los gases. Según el movimiento del lecho, se diferencian en:

✓ **Lecho fluidizado burbujeante (BFB):** Se encuentra como si estuviera hirviendo, debido a que el aire trata de sobrepasar la capa de arena que previamente fueron calentadas por quemadores que utilizan algún hidrocarburo y calienta la arena alrededor de 600 °C.

Cuando la temperatura se encuentra sobre los 850 °C en la cámara superior de postcombustión por la acción de quemadores auxiliares, cuando la arena ha alcanzado la temperatura ideal, se introduce el residuo en la arena. El calor de la arena se transmite al residuo y este se combustiona. En la parte superior del horno se introduce aire para garantizar así una combustión efectiva, con los 850 °C se consiguen niveles inferiores al 0,2% de escoria.

Los residuos de la combustión salen del horno, secos y limpios, por el fondo con arena que vuelve al horno ya que esta es cribada (IDEA, 2011). El intervalo de la valorización energética de los residuos es mayor a 1600 – 4200 kcal/kg, la carga mecánica kg/m²/h de residuos sobre el fondo es mucho mayor que en los

hornos de parrilla. No existe movimiento de piezas dentro del horno a alta temperatura como en el horno de parrilla. Se puede neutralizar HCl, HF, SO_x; dentro del horno esto permite elevar la temperatura de las condiciones de vapor y se mejora la eficiencia eléctrica. Se debe introducir un tamaño de residuo con la suficiente graduación para asegurar una mejor combustión de los mismos.

✓ **Lecho fluidizado circulante (CFB):** Esta tecnología se desarrolló con la intención de mejorar el lecho burbujeante, y lograr una combustión más completa, conjuntamente con un mayor control sobre la temperatura. En este caso, la velocidad de aire a través del lecho aumenta, con lo que parte del material del lecho se arrastra con los gases de combustión. La velocidad de circulación aumenta hasta 10 m/s, esto permite que la arena se distribuya uniformemente en toda la cámara de postcombustión. Los gases de escape de la cámara de postcombustión pasan a un ciclón donde se separan los elementos inertes que vuelven a introducirse al horno, y los gases pasan a la caldera donde ceden su calor al agua, acción que permite recuperar gran parte de la energía térmica.

El horno de lecho fluidizado circulante es óptimo para combustibles de alto poder calorífico, es adecuado para tratar el combustible sólido de residuos que resulta del tratamiento de los residuos sólidos urbanos de los cuales se ha eliminado la fracción orgánica, los inertes y la humedad (FENERCOM 2010).

✓ **Lecho fluidizado “Revolving type”:** El objetivo de este diseño es el de mejorar el contacto de las partículas en el lecho, manteniéndolo en continuo movimiento. El lecho es del tipo BFB, en el cual el aire se inyecta de forma no uniforme, creando zonas diferenciadas de paso de aire. Adicionalmente, se

instalan unos deflectores en la zona inferior del lecho contra los que golpean los sólidos del lecho, resultando un movimiento circular de agitación. Las escorias se extraen por los laterales del lecho. En el interior del lecho fluidizado, tiene lugar el secado, la volatilización, la ignición y la combustión de los residuos. Se produce un gradiente de temperaturas, de manera que en la zona situada por encima del lecho, se dan temperaturas de entre 850 °C y 950 °C, permitiendo la retención de gases en la zona de combustión, mientras que en el interior del lecho la temperatura es menor, alrededor de los 650 °C. Gracias a la capacidad del reactor de permitir una buena mezcla, los hornos de lecho fluidizado generalmente tienen una buena distribución de temperaturas y oxígeno, lo que concluye en una operación más estable.

➤ Residuos Más Apropriados

En el caso del lecho fluidizado, los residuos tienen que cumplir unas ciertas especificaciones con respecto a tamaño, forma y composición. En general, los principales residuos aceptados por esta tecnología son:

- ✓ Residuos con ausencia o bajo contenido de materiales inertes y metales separados.
- ✓ Uso limitado para RSU directos.
- ✓ A menudo aplicado para lodos de depuradora o CDR/CSR.

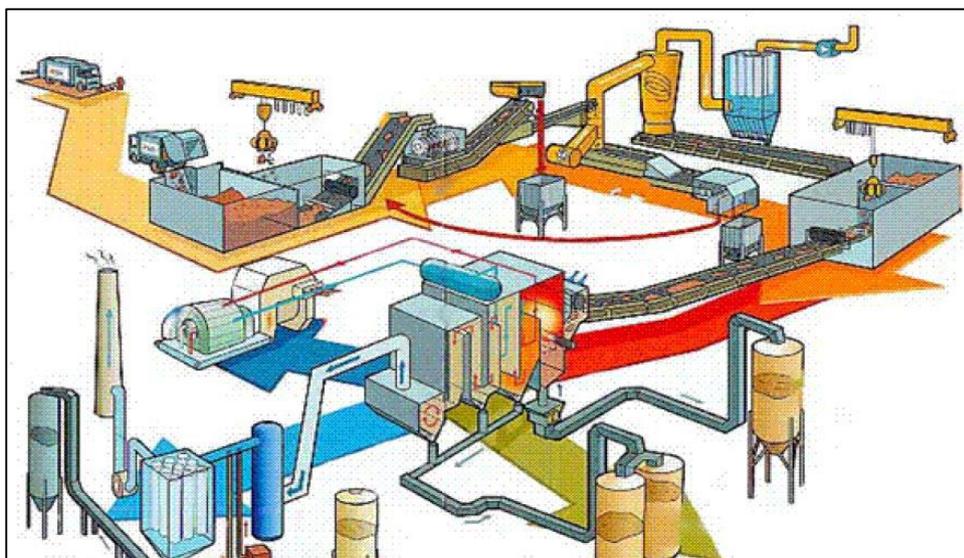


Figura N° 07: Esquema de Horno de Lecho Fluidizado
Fuente : European Commission (2006).

Cuadro N° 04: Principales Emisiones a la Atmósfera Producto de la Incineración de los Residuos Sólidos Urbanos.

Emisiones	Descripción
Partículas	Diversos tamaños de partículas
Ácidos y gases	HCl, HF, HBr, HI, SO ₂ , NO _x , NH ₃ entre otros.
Compuestos de carbono	CO, hidrocarburos.
Metales pesados	Hg, Cd, Ti, As, Ni, Pb entre otros.
Olor	Manejo de residuos sin tratar.
Gases de efecto invernadero	Descomposición de residuos almacenados gases como metano, CO ₂ .
Material particulado	Manejo de reactivos secos y almacenaje de residuos.
Efluentes de los dispositivos de control contaminación atmosférica	Sales, metales pesados.
Descarga de efluentes finales de las plantas de tratamiento de aguas residuales	Sales, metales pesados.
Aguas de calderas	Sales.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. España (2011).

ii. Pirolisis

Es un proceso de tratamiento de residuos, en escasos o ausencia total de oxígeno. Por lo que los residuos se descomponen mediante el calor, sin producir reacciones de combustión. Según Moltó, 2007, producto del tratamiento de los

residuos sólidos urbanos se obtiene H₂, CH₄, C₂H₆, CO y otros compuestos; líquidos como alquitranes, aceites, acetona, ácido acético, metanol, compuestos oxigenados complejos, etc. y un residuo carbonoso o char (Madrid, 2012) (García, 2013).

La pirólisis transforma la materia orgánica de los residuos urbanos, a altas temperatura entre 300°C y 1100°C (García 2013).

Operativamente la pirólisis es una técnica de valorización energética de los residuos sólidos urbanos versátil ya que todos los residuos poliméricos, naturales o sintéticos son posibles de valorizarse.

Es recomendable el tratamiento con esta técnica de: biomasa, plásticos poliolefínicos y poliaromáticos que constituyen el 75% de la producción mundial de plásticos, caucho que en Europa se estima que cada habitante produce 6 kg/hab.*año (García et. al 2013).

El gas que se obtiene en el proceso de la pirólisis tiene un poder calorífico de 15 – 20 MJ/Nm³. Este método de valorización energética para residuos sólidos urbanos puede alcanzar una eficiencia del 26% y una eficiencia promedio del 24,5%.

Las características básicas de dicho proceso se detallan a continuación:

- ✓ El único oxígeno presente es el contenido en el residuo a tratar.
- ✓ Las temperaturas de trabajo, oscilan entre los 300 °C y los 800 °C.
- ✓ Como resultado del proceso se obtiene un:

- ❖ **Gas de síntesis:** Cuyos componentes básicos son CO, CO₂, H₂, CH₄ y compuestos más volátiles procedentes del cracking de las moléculas orgánicas, conjuntamente con las ya existentes en los residuos.
- ❖ **Residuo líquido:** Compuesto básicamente por hidrocarburos de cadenas largas como alquitranes, aceites, fenoles, o ceras, formados al condensar a temperatura ambiente.
- ❖ **Residuo sólido:** Compuesto por todos aquellos materiales no combustibles, los cuales o bien no han sido transformados o proceden de una condensación molecular con un alto contenido en carbón, metales pesados y otros componentes inertes de los residuos.
- ✓ Al no darse la reacción de oxidación de los compuestos más volátiles, el PCI del gas de síntesis procedente del proceso de pirólisis llega a oscilar entre 15 y 20 MJ/Nm³.

Las condiciones de operación con las que se lleva a cabo la pirólisis pueden variar, diferenciándose tres tipos:

- ✓ **Pirolisis lenta:** Proceso discontinuo, (P=atm, T= 400 °C – 500 °C) en el que la velocidad de calentamiento es reducida, (<2 °C/s), prolongando su tiempo de reacción entre 5 minutos y varias horas.
- ✓ **Pirolisis rápida:** Proceso continuo, a vacío y a temperaturas elevadas, por lo que la velocidad de reacción es mayor que en el caso anterior.

Los productos volatilizados permanecen unos segundos en el reactor, evitando las reacciones de condensación. Se usa comúnmente para biomasa.

✓ **Pirolisis “flash”:** Proceso continuo, en el que el tiempo de residencia de los gases es $<0,5$ s, y la transmisión de calor es muy rápida. Se aplica a casos en los que el material a pirolizar tiene un alto contenido en volátiles.

Asimismo, dependiendo de la temperatura de reacción se clasifican en:

✓ **Procesos de baja temperatura:** <550 °C, se producen principalmente alquitranes, aceites y un residuo carbonoso.

✓ **Procesos de temperatura media:** Entre 550 °C y 800 °C, se obtienen elevados rendimientos de gas.

✓ **Procesos a alta temperatura:** >800 °C y producen elevadas cantidades de gas, debido al cracking de alquitranes.

Las bajas temperaturas de trabajo provocan una menor volatilización de carbono y otros contaminantes precursores en la corriente gaseosa, como metales pesados o dioxinas. Por esto, los gases de combustión necesitarán teóricamente un tratamiento menor para cumplir los límites mínimos de emisiones fijados en la directiva de incineración europea. Los compuestos que no se volatilicen, permanecerán en los residuos de la pirólisis y necesitará ser gestionado adecuadamente. Los residuos sólidos procedentes de la pirólisis pueden contener carbono, en una proporción superior al 40%, conteniendo una proporción significativa de energía del residuo de entrada. Por este motivo, la recuperación energética del horno es importante para la eficiencia energética. Esta se puede llevar a cabo de distintas maneras:

✓ Combustión de gases y aceites obtenidos, mediante un ciclo de vapor para la producción de energía eléctrica.

- ✓ Aplicación como etapa previa a un proceso de gasificación.
- ✓ Uso del producto sólido como combustible en instalaciones industriales, como por ejemplo, en plantas cementeras.
- ✓ Los hornos usados, típicamente, en pirólisis son:
 - ❖ Hornos rotativos.
 - ❖ Hornos de tubos calentados externamente (“heated tubes”).

Dados los procesos implantados de plantas con esta tecnología, la pirólisis se plantea como una etapa previa a la combustión para mejorar su rendimiento energético. Además, de los residuos recibidos se deben seleccionar los materiales con contenido energético más alto y aplicarles también un pretratamiento para su adecuación a las características del proceso.

➤ **Residuos Más Apropriados**

Para poder tratar los residuos mediante pirólisis, se deben cumplir una serie de requisitos. Sin embargo, es difícil definir la tipología de residuos considerados como adecuados o inadecuados, dado que está muy relacionado con el tipo de reactor usado y de las condiciones de operación. Básicamente, se consideran como residuos más aptos: papel, cartón, astillas de madera, residuos de jardín y algunos plásticos seleccionados. En cualquier caso, en cuanto a la clasificación y al pretratamiento, son de aplicación, en mayor o menor medida, los mismos criterios que para la gasificación:

- ✓ Los residuos deben proceder de un sistema de recogida selectiva y/o en su defecto, deben someterse a un sistema de clasificación previo a la planta de pirólisis.

- ✓ No son admisibles los residuos voluminosos, los metales, los materiales de construcción, los residuos peligrosos, vidrio y algunos plásticos, como el PVC.
- ✓ Se requiere triturar, secar y homogeneizar los residuos, siendo los límites de aplicación distintos para cada tipo de proceso.

➤ **Ventajas**

- ✓ La posibilidad de recuperar fracciones orgánicas, como por ejemplo el metanol.
- ✓ La posibilidad de generar electricidad usando motores de gas o turbinas de gas para la generación, en lugar de calderas de vapor.
- ✓ Reducir el volumen de los gases de combustión, para reducir el coste de inversión en el tratamiento de gases de combustión.
- ✓ Las ventajas de emisión de los gases de combustión conseguidos en este proceso se verán reducidas, cuando se realice un proceso a altas temperaturas como la gasificación o la combustión.

➤ **Inconvenientes**

- ✓ Uso limitado a ciertos residuos.
- ✓ Requiere buen control de operación del proceso.
- ✓ La tecnología no está ampliamente probada.
- ✓ Requiere un mercado para el gas de síntesis. Normalmente se utiliza en una etapa posterior de combustión.

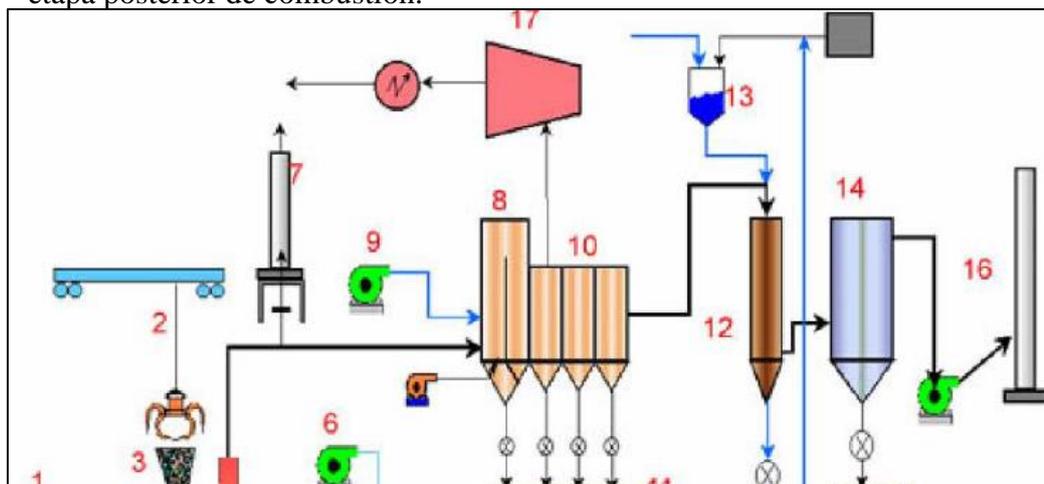


Figura N° 08: Diagrama de Proceso de Pirólisis.
Fuente : WASTEGEN.

Leyenda: 1.-Foso; 2.-3.-sistema alimentación RSU, 4.- Reactor de pirólisis, 5.- extractor de productos sólidos, 6.- bomba, 7.- chimenea, (char), 8.-cámara de postcombustión, 9.- bomba, 10.-caldera de recuperación, 11.- sistema de tratamiento de gases, 17.-turbina 12-15.- sistema de tratamiento de gases 16.- chimenea, 13.- tratamiento de gases.

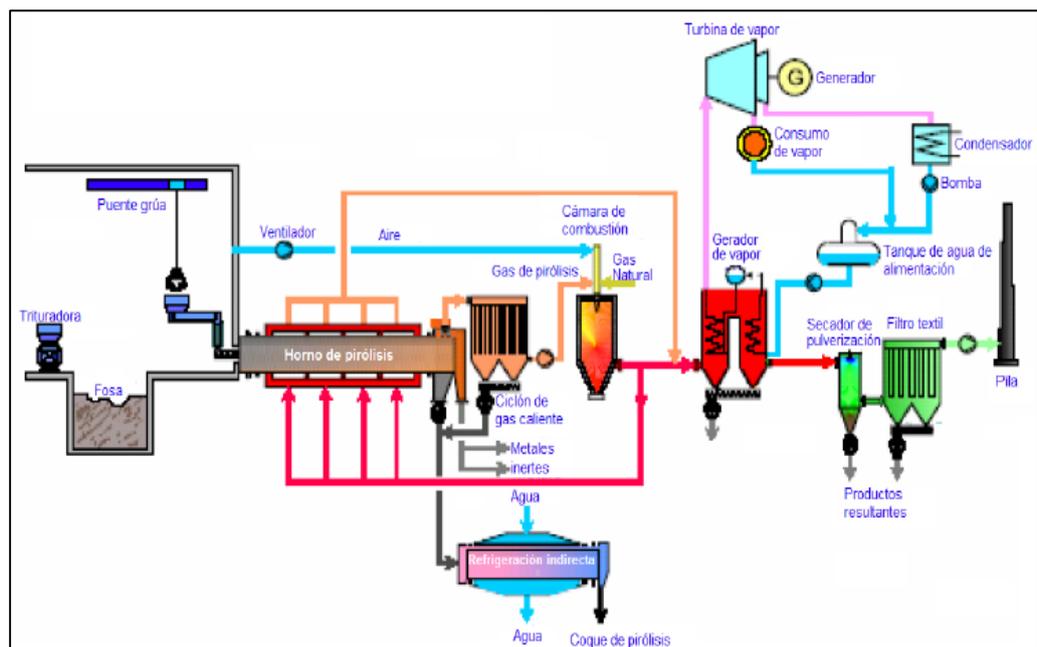


Figura N° 09: Diagrama de Flujo Simplificado de Una Planta de Pirólisis.
Fuente : MSW Pyrolysis Plant. (2004).

iii. Gasificación

Es la transformación de una sustancia sólida o líquida en una mezcla gaseosa mediante oxidación parcial con aplicación de calor (Colomer y Gallardo, 2007).

La gasificación es un proceso termoquímico en el que un sustrato que contiene compuestos de carbono (residuo orgánico) es transformado, mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura determinada en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno y/o vapor de agua) en un combustible de bajo poder calórico. Para obtener un buen rendimiento de la mezcla gaseosa resultante (contenidos altos en hidrógeno y monóxido de carbono) es necesaria una temperatura mínima de 700 a 800°C. Para evitar problemas de aglomeración de cenizas se trabaja a temperaturas de 800 a 1500°C. La calefacción del reactor se realiza normalmente mediante la combustión del gas producido (ONUUDI, 2007).

“La gasificación es un proceso en el que se convierte mediante la oxidación parcial a elevada temperatura, una materia prima en un gas con un moderado poder calorífico (Elías Castells y col 2012).

Esta tecnología trabaja con un 25 – 30% del oxígeno necesario para conseguir la oxidación completa. En la gasificación, la energía química contenida en la materia prima habitualmente sólida, se convierte en energía química contenida en un gas. Las cenizas generadas en este proceso pueden valorizarse como material de construcción, fertilizante, en fabricación de vidrio, si la materia prima es un residuo orgánico, con bajo contenido de cenizas estas no son valorizables (García, et, al 2013).

La Gasificación es un proceso que separa los residuos sólidos urbanos en sus componentes básicos y posibilita la producción de energía eléctrica. La gasificación realiza la reducción de los residuos sólidos urbanos en ausencia de oxígeno a altas temperaturas evitando las emisiones de CO₂ al ambiente (UNIDECO 2015).

Este proceso termoquímico transforma la materia orgánica presente en los residuos sólidos urbanos en gas con poder calórico reducido, consta de tres fases: secado, craqueo y la gasificación.

El calentamiento del residuo en contacto con cierta cantidad de oxígeno produce una combustión parcial que genera gas de síntesis compuesto por CO, H₂, N₂, CO₂ y CH₄. También se produce residuo sólido carbono sin gasificar, similar a las escorias de los hornos de incineración. El poder calórico de gases procedentes de la gasificación esta entre 10 – 15 MJ/Nm³ si se utiliza oxígeno como agente gasificante y si se utiliza aire está entre 4 – 10 MJ/Nm³.

Las reacciones químicas producidas en este proceso son de dos tipos:

✓ **Cracking Molecular:** Temperaturas elevadas provocan la rotura de los enlaces moleculares débiles originando moléculas de menor tamaño comúnmente hidrocarburos volátiles.

✓ **Reformado de Gases:** Son reacciones específicas del proceso de gasificación en la que interviene el vapor de agua como reactivo (IDEA, 2011).

El gas generado puede utilizarse como gas de síntesis en: motores, turbinas de gas o vapor.

La materia a gasificar debe encontrarse en un rango de 10 – 15% de humedad para que el proceso de gasificación sea eficiente, caso contrario el proceso de secado demandará una elevada cantidad de energía que a la final mermará la producción de energía para exportar o para el autoconsumo.

La eficiencia energética en este método de valorización puede alcanzar valores de hasta el treinta por ciento en condiciones ideales, pero debido a que los residuos deben recibir un tratamiento previo para someterlos a gasificación la eficiencia energética alcanza un promedio del 19% (García, et, al 2013).

➤ **Residuos Más Apropriados**

La gasificación también tiene la restricción de poder tratar sólo algunos materiales específicos. Las características del combustible alimentado debe asegurar como mínimo que:

- ✓ Contenga el mínimo de inertes y de componentes muy húmedos.
- ✓ Tenga un tamaño de partícula comprendido entre 80 y 300 mm.
- ✓ Contenga una cantidad de carbono suficiente para poder llevarse a cabo las reacciones del proceso de gasificación.
- ✓ No contener sustancias peligrosas.
- ✓ Si puede ser, que tenga elevado PCI.

Cuadro N° 04: Tipos de Reactores de Gasificación

REACTOR	OPERACIÓN
----------------	------------------

Gasificadores de lecho fijo	Flujo a contracorriente (<i>updraft</i>)
	Flujo en paralelo (<i>downdraft</i>)
	Gasificadores de parrilla
Gasificadores de lecho fluidizado	Burbujeante
	Circulante
	De flujo arrastrado

Fuente: Instituto Para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

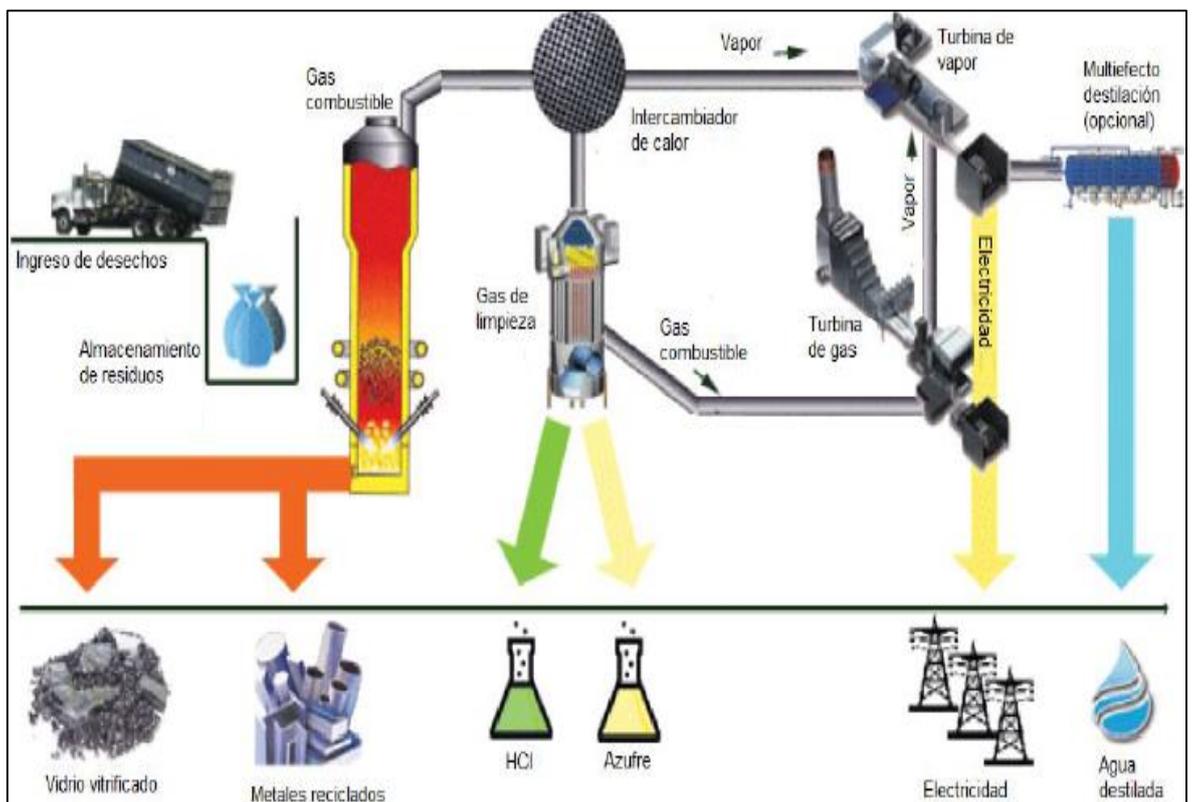


Figura N° 10: Esquema de Proceso de Gasificación.

Fuente : UNIDECO s.f.

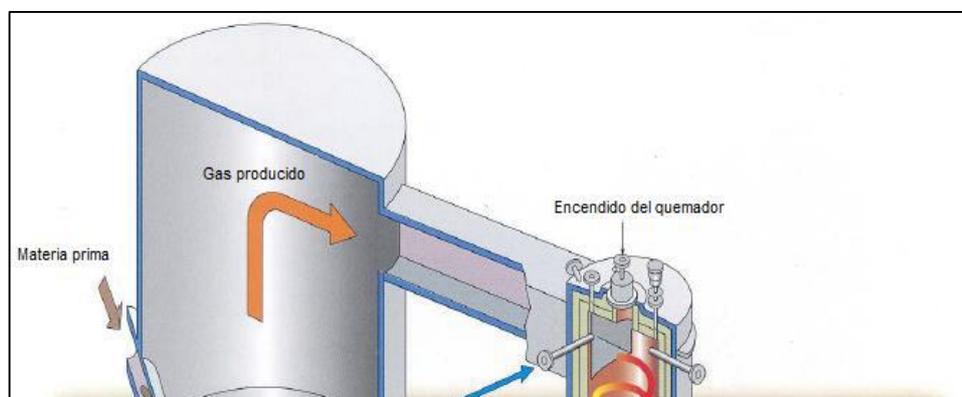


Figura N° 11: Esquema del Sistema de Gasificación.
Fuente : REINNOVA 2009.

iv. Plasma

El plasma es un estado de la materia, formado a partir de un gas sometido a altas temperaturas y en el cual prácticamente todos los átomos han sido ionizados. El resultado es un fluido formado por una mezcla de electrones, iones y partículas neutras libres, siendo en conjunto eléctricamente neutro, pero conductor de la electricidad. Las características que definen este proceso son las siguientes:

- ✓ La generación de plasma se realiza al hacer fluir de un gas inerte a través de un campo eléctrico existente entre dos electrodos, formándose el denominado arco de plasma.
- ✓ Las temperaturas de trabajo varían entre 5.000 °C y 15.000 °C.
- ✓ En el seno del gas se producen las siguientes reacciones:
 - ❖ Disociación de átomos.

- ❖ Pérdida de electrones de las capas externas.
- ❖ Formación de partículas cargadas positivamente.
- ✓ El fundamento del proceso es el siguiente:
 - ❖ Si un gas se halla en las condiciones anteriores y se introduce en un campo eléctrico se generará una corriente eléctrica, formada por los electrones libres dirigiéndose al polo positivo del campo eléctrico, y las partículas positivas hacia el negativo. Esta corriente eléctrica determina una resistividad y, por tanto, una transformación en calor que depende de la intensidad eléctrica. De este modo, aumentando la intensidad del campo eléctrico se aumenta: la intensidad electrónica y catiónica, la transformación en calor y la temperatura del gas.
- ✓ Este proceso tiene como límite práctico la resistencia mecánica y térmica de los electrodos.

El plasma, como método térmico para el tratamiento de residuos, presenta tres posibilidades:

- ✓ Tratamiento de gases peligrosos, los cuales se someten a las temperaturas de trabajo, destruyendo así su estructura molecular. Un ejemplo claro, es la aplicación para la destrucción de PCBs²², dioxinas, furanos, pesticidas, etc.
- ✓ Vitricación de residuos peligrosos, tanto para los residuos orgánicos, destruyendo su estructura molecular, como para los inorgánicos, mediante la fusión de los mismos dentro de una masa vítrea.

²² PBC: Bifenilos policlorados. Son organismos organoclorados ampliamente utilizados, principalmente como refrigerante en equipos eléctricos, como transformadores o estaciones rectificadoras. Presentan una alta toxicidad ambiental.

Después de enfriar y solidificar la masa fundida, los residuos permanecen físicamente capturados dentro de la masa vítrea, y por tanto se convierten en un sólido inerte, minimizando sus posibilidades de lixiviación.

✓ Gasificación por plasma, en la que se utiliza como fuente de calor la energía térmica contenida en el propio plasma a partir de la energía (normalmente eléctrica) consumida para la generación del mismo. De esta forma, se obtiene como productos finales:

- ❖ Gas, compuesto fundamentalmente por monóxido de carbono e hidrógeno.
- ❖ Residuo sólido, consistente en una escoria inerte generalmente vitrificada.

La gasificación por plasma, presenta ventajas respecto a la gasificación autotérmica, en cuanto a recuperación energética.

✓ Al trabajar a mayores temperaturas, se reduce la cantidad de carbono en escorias y la generación de alquitranes, por lo que las pérdidas energéticas en términos de PCI son menores.

✓ Al generarse una menor cantidad de gases, (menor cantidad de CO₂ y de N₂), la energía necesaria para las etapas de depuración y compresión del gas crudo, serán también menores.

✓ La utilización de combustibles complementarios, como coque, aumentaría el PCI del gas de síntesis, por su mayor facilidad de gasificación y aportación de CO.

✓ Al vitrificar las escorias, se produce una pérdida adicional de energía, tanto en la extracción directa de energía del reactor como por la necesidad de mantener temperaturas muy elevadas.

En cuanto a la valorización del gas de síntesis obtenido en la gasificación por plasma, se puede realizar por medio de ciclos térmicos combinados de turbina de gas y de vapor o por motores de gas. Los tecnólogos describen rendimientos teóricos de obtención de energía eléctrica, superiores al 50%, en el primer caso, y entorno al 35% en el caso de los motores de gas.

➤ **Residuos Más Apropriados**

Como resultado de las pruebas realizadas en planta piloto, algunas fuentes aseguran que esta tecnología podría llegar a tratar una amplia variedad de los residuos, como RSU, residuos industriales, biomasa, neumáticos, CDR/CSR, plásticos, residuos especiales, etc., aunque no todos ellos están probados al mismo nivel. A diferencia de la gasificación y la pirólisis, en esta tecnología también se incluyen, residuos con alto contenido de compuestos inorgánicos e inertes, de humedad, e incluso de valores de PCI reducidos, por la posibilidad de aportación energética externa. Sin embargo, esta misma aportación energética es la que implica limitaciones en rentabilidad económica. Para evitar un coste excesivo se debe tratar residuos de alto PCI, de bajo contenido en volátiles,

impurezas y humedad. Así pues, se requiere un pretratamiento en el que se reduzca la cantidad de inertes y humedad, así como una homogeneización del tamaño de partícula de los residuos, tal y como se realiza en los procesos de gasificación y pirólisis.

➤ **Ventajas**

La gasificación por plasma de los residuos es la aplicación más novedosa de todas las presentadas. Existen dos referencias a nivel mundial de aplicación de este tipo de tecnología para el tratamiento de los residuos: la planta de Eco-Valley, de Hitachi Metals Ltd., y la planta de Trail Road, del grupo Plasco Energy. Estas plantas aún están en fase de pruebas y la disponibilidad de datos de explotación también es escasa para permitir establecer conclusiones sobre su eficiencia energética y su rentabilidad económica. Sin embargo, a nivel teórico se citan las ventajas que presentaría esta tecnología:

- ✓ Reducción de la cantidad de carbono en las escorias y de la generación de alquitranes, por lo que conlleva menores pérdidas de PCI.
- ✓ Menor depuración y acondicionamiento del gas.
- ✓ Mayor rendimiento energético que en la gasificación.

➤ **Inconvenientes**

Los inconvenientes serían:

- ✓ Al vitrificar las escorias, se produce una pérdida adicional de energía, tanto en la extracción directa de energía del reactor como por la necesidad de mantener temperaturas muy elevadas.
- ✓ Es una tecnología en fase de pruebas.

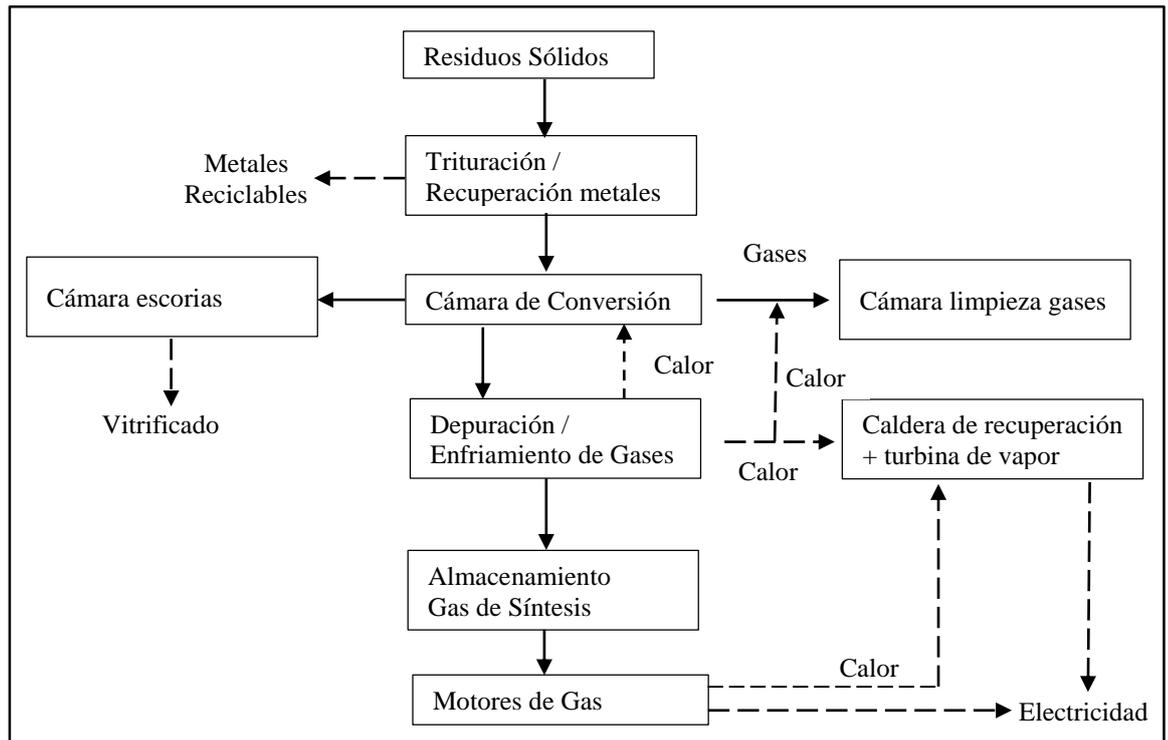


Gráfico N° 04: Esquema proceso de Gasificación por Plasma.
Fuente : Plasco Group.

Cuadro N° 05: Rangos de Aplicación de la Valorización Energética de los Residuos Sólidos Urbanos por Tratamiento Térmico.

Método		Rango de Aplicación (t/día)
Incineración	Parrilla Móvil	120 - 720
	Lecho Fluizado	36 - 200
	Horno Rotativo	100 - 350
Pirólisis		10 - 100
Gasificación		250 - 500

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. España 2011.

Cuadro N° 06: Método que se Aplica al Tipo de Residuo a Tratar.

Método	Residuos Urbanos Sin Tratar	Residuos Pre tratados	Residuos Peligrosos	Residuos Clínicos	
Incineración	Parrilla Móvil	Se aplica	Se aplica	No se aplica normalmente	Se aplica
	Lecho Fluizado	Se aplica raramente	Se aplica	No se aplica normalmente	No se aplica normalmente
	Horno Rotativo	No se aplica normalmente	Se aplica	Se aplica	Se aplica
Pirólisis	Se aplica raramente	Se aplica	Se aplica raramente	Se aplica raramente	
Gasificación	Se aplica raramente	Se aplica	Se aplica raramente	Se aplica raramente	

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. España 2011.

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 m ³ /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 m ³ /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).

v. Condiciones que Debe Reunir un Sistema de Tratamiento Térmico

- **Cantidad de residuos a tratar por hora**

Al momento de diseñar el sistema se debe tener en consideración la producción de residuos generados para distribuir su ingreso las horas que se encuentre operativo el sistema de valorización energética de residuos.

- **Contenido de humedad de los residuos sólidos urbanos**

Para mantener la eficiencia de los sistemas de tratamiento térmico los residuos deben mantener rangos específicos para cada método empleado, caso contrario se perderá eficiencia al momento de secar los residuos para poder posteriormente someterlo al tratamiento térmico.

- **Volumen del Combustor**

Será diseñado conforme a la cantidad de residuos generados o que ingresan a la planta de tratamiento.

- **Consumo de combustible**

Para secar o para incinerar los residuos, cuando no se puede emplear la energía generada por estos métodos.

- **Calor bruto**

Calor generado sin considerar las pérdidas por radiación, debido a esto el diseño de los hornos se lo debe realizar con material refractario que evite las menores pérdidas posibles hacia el exterior.

- **Pérdidas**

Para el diseño y determinar la eficiencia de los tratamientos térmicos se debe evaluar las pérdidas generadas por la radiación y por la evaporación del contenido de humedad de los residuos.

- **Calor neto**

Calor generado considerando las pérdidas que tiene el sistema, por causa de la radiación o fugas.

- **Peso de los productos**

Sirve para diseñar los sistemas de alimentación, a los sistemas de tratamiento térmico.

- **Productos de la combustión de los residuos**

Al definir estos productos se podrá planificar la disposición final de los mismos en rellenos sanitarios o su aprovechamiento en la industria.

- **Volumen de los productos de la combustión**

Sirve para diseñar o planificar el área donde se dispondrá estos productos para su posterior aprovechamiento o disposición final.

- **Área y altura de la chimenea**

Se deberá calcular en base al volumen y densidad de los productos generados para evitar la contaminación a nivel del suelo (compilación de varios autores).

2.2. MARCO NORMATIVO

A. Marco Legal a Nivel Nacional

A nivel nacional, el marco legal de los residuos sólidos que guía la gestión y manejo de los residuos sólidos se explica de manera resumida en el siguiente gráfico.

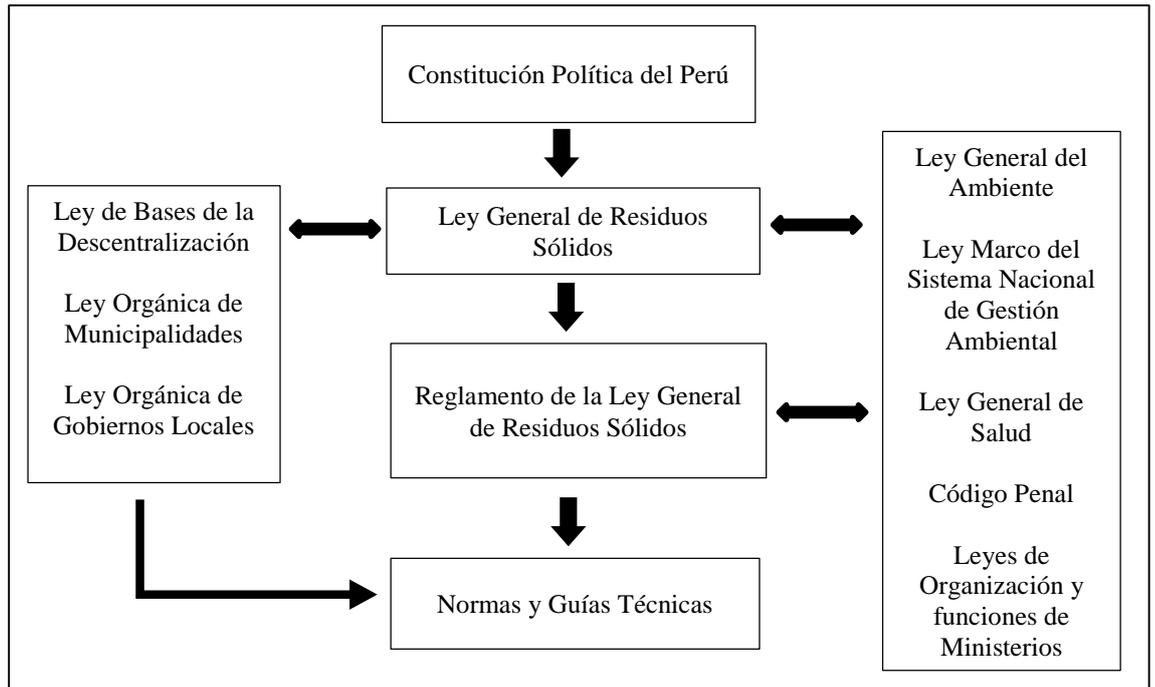


Grafico N°05: Instrumentos legales de mayor relevancia para la gestión y manejo de los residuos sólidos municipales.

Fuente : MINAM, (2013). Cuarto Informe Nacional de Residuo Municipales y No Municipales

El objetivo central de la Ley General de Residuos Sólidos es asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada (de calidad), con sujeción a los principios de:

- ✓ Minimización
- ✓ Prevención de riesgos ambientales
- ✓ Protección de la salud
- ✓ Búsqueda del bienestar de la persona humana.

Con el fin de promover el desarrollo de la infraestructura de residuos sólidos, para atender la demanda creciente de la población y del propio sector privado que constituye una fuente importante de generación de residuos, producto de las actividades económicas que realizan las empresas del país, se da el Decreto

Legislativo 1065 que modifica la Ley 27314, Ley General de los Residuos Sólidos, siendo los aspectos más relevantes:

- ✓ Define el marco institucional de los residuos sólidos en el Perú.
- ✓ Establece dos ámbitos de gestión de los residuos sólidos EL MUNICIPAL y el NO MUNICIPAL.
- ✓ Define y estandariza la definición de residuo sólidos y su clasificación.
- ✓ Establece un sistema de registro y autorizaciones.
- ✓ Define la responsabilidad frente a daños (el que luego fuera incluido en el Código Civil Artº 1970).
- ✓ Define el seguro contra riesgos.
- ✓ Incorpora el fomento de la inversión privada en el manejo de los Residuos sólidos
- ✓ Hace una aproximación de los cobros diferenciados por prestación municipal.

Asimismo, de manera general, define los tipos de evaluaciones ambientales que deberán ser aplicadas en los procesos que generen residuos sólidos (EIA y PAMAS), así como la aprobación de infraestructuras de los residuos sólidos, las declaraciones de manifiesto de los residuos sólidos, el informe del operador de los RRSS, además de las competencias para sancionar. En el Artículo 8 del Reglamento de la Ley General de Residuos establece que la municipalidad, tanto provincial como distrital, es responsable por la gestión y manejo de los residuos de origen domiciliario, comercial y de aquellos similares a éstos originados por otras actividades. Corresponde a estas municipalidades, lo siguiente:

Cuadro N° 08: Competencias de la gestión y Manejo de los Residuos Sólidos en el Ámbito Municipal

PROVINCIAL	DISTRITAL
Planificar, promover, regular, aprobar, autorizar, fiscalizar, supervisar y sancionar en su jurisdicción los aspectos técnicos y formales de gestión y manejo de los residuos de competencia municipal.	
Asegurar la adecuada limpieza de vías, espacios y monumentos públicos, y promover el manejo adecuado de los residuos en las ciudades capitales hasta su disposición final.	Asegurar la adecuada prestación del servicio de limpieza, recolección, transporte de RRSS en su jurisdicción, asegurando la adecuada disposición final de los mismos
Establecer criterios para la fijación de tasas o tarifas que se cobren por la prestación del servicio de limpieza pública, recolección, transporte, transferencia, tratamiento o disposición final de RRSS en los distritos de jurisdicción.	Asegurar la cobranza de tasas o tarifas por la prestación del servicio de limpieza pública, recolección, transporte, transferencia, tratamiento o disposición final de RRSS
Aprobar proyectos de infraestructura de transferencia, tratamiento y disposición final.	Determinar las áreas de infraestructura de RRSS y las áreas de disposición final en coordinación con la provincial
Suscribir contratos con EPS-RS y EC-RS registradas en DIGESA en el ámbito de su jurisdicción, así como promover su constitución.	Suscribir contratos con EPS-RS y EC-RS registradas en la DIGESA en el ámbito de su jurisdicción
Autorizar y fiscalizar las rutas de RRSS peligrosos de su jurisdicción (vías locales y metropolitanas).	
Sancionar a los generadores de RRSS en el ámbito del distrito del cercado respectivo.	Sancionar a los generadores de RRSS en el ámbito de su jurisdicción.

Fuente: Decreto Supremo N°057-2004-PCM.

Cuadro N° 09: Línea de Tiempo del Marco Legal Vinculada a la Gestión y Manejo de Residuos Sólidos

Año de Aprobación	Norma Legales	Publicado
1991	D.L. N° 635 Código Penal	08-04-1991
1991	D.L. N° 757 Ley marco para el Crecimiento de la Inversión Privada	10-11-1991
1993	C.P. PERÚ Constitución Política del Perú	30-12-1993
1997	Ley N° 28842 Ley General de Salud	15-07-1997
2000	Ley N° 27314 Ley General de Residuos Sólidos	21-07-2000
2001	Ley N° 27446 Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental	23-04-2001
2003	Ley N° 27972 Nueva Ley Orgánica de Municipalidades	27-05-2003
2004	Ley N° 28245 Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental	08-06-2004
2004	Ley N° 28256 Ley que regula el Transporte terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos	18-06-2004
2004	D.S: N° 057-2004-PCM Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos	24-07-2004
2005	Ley N° 2861 Ley general del Ambiente	15-10-2005
2006	R.L. N° 28766 TLC Perú EE.UU.	29-06-2006
2008	D.L. N° 1013 Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente	14-05-2008
2008	D.S. N° 021-2008-MTC Reglamento Nacional de Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos	10-06-2008
2008	DL. N° 1065 Modificación de la Ley N° 27314	28-06-2008
2008	Ley N° 29283 Modificación del título XII del Código Penal	02-10-2008
2009	D.S. N° 012-2009-MINAM Aprobación de la Política Nacional del Ambiente	23-05-2006
2009	D.S. N° 019-2009- MINAM Aprobación del Reglamento del SEIA	25-09-2009
2009	Ley N° 29410 Ley que regula la actividad de los Recicladores	07-10-2009
2010	D.S. N° 005-2010-MINAM Reglamento de la Ley que regula la actividad de los Recicladores	03-06-2010
2012	D.S. N° 001-2012- MINAM La Gestión y Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos	27-06-2012

Fuente: Normas Legales Revisadas Para el IV Informe Nacional de la Situación de la Gestión y Manejo de Residuos Sólidos 2012.

III. MÉTODO Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. METODO

El presente proyecto de investigación siguió el Método Inductivo-Deductivo, es decir que a partir de muestras obtenidas de las viviendas pertenecientes al Distrito de Chimbote y de información documental y bibliográfica de textos electrónicos y textos impresos que tratan sobre la valorización energética de los residuos sólidos, se puede inferir la cantidad de energía eléctrica a utilizar en la provincia del santa aportada por los residuos sólidos municipales.

3.2. METODOLOGIA

3.2.1. Secuencia Metodológica Para Obtener la Generación y Demás Características Físicas de Residuos Sólidos

Para obtener el dato de generación y demás características físicas de los residuos sólidos de la Provincia del Santa se realizó un estudio de caracterización cuya metodología fue diseñada por el doctor Kunitoshi Sakurai y que se aplica para los países de América Latina y del Caribe (Cantanhede et al. 2009). Además, esta metodología de análisis de residuos sólidos es recomendada por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS, el cual describimos a continuación:

- ✓ Zonificación del área de estudio: Se determinaron cuatro zonas (de acuerdo a lo establecido por Tchobanoglous et al. 1994). A continuación se muestran las zonas que fueron consideradas para el estudio de caracterización:



Figura N° 12: ZONA 1 - EL PROGRESO
Fuente : COFOPRI.



Figura N° 13: ZONA 2 - LA LIBERTAD
Fuente : COFOPRI.



Figura N° 14: ZONA 3 – EL CARMEN
Fuente : COFOPRI.



Figura N° 15: ZONA 2 – LADERAS DEL NORTE
Fuente : COFOPRI.

- ✓ Identificar la población actual: Esta información fue consultada en las bases del INEI²³ para determinar la cantidad de viviendas urbanas.
- ✓ Número de muestras: Cantidad de muestras por zonas representativas que fue determinada según la fórmula diseñada por Sakurai (Pacheco et al. 2009).

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 N \sigma^2}{(N-1)E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2} \quad (13)$$

Donde:

n = Muestra de las viviendas

N= Total de viviendas (Información obtenida de GEDUR)

Z = Nivel de confianza 95% (Dato estandarizado por el MINAM 1.96)

σ = Desviación estándar (Dato estandarizado por el MINAM 0.25 kg/hab.día)

E = Error permisible (10% de la GPC nacional).

- ✓ Distribución de la muestra: La distribución total de la muestra se realizó según la zonificación de áreas y con una asignación aproximada en número de muestras.
- ✓ Toma de muestras: Antes de recolectar la muestra fue necesario conocer de los puntos de muestreo la información general sobre los usuarios (productores de residuos), su percepción y propuestas de mejora al servicio de aseo, y las formas almacenamiento y recolección de sus residuos sólidos.
- ✓ Se pesó diariamente (w_i) la totalidad de las bolsas recogidas durante los días que dure el muestreo (se indica que para el primer día de muestreo se elimina

²³ INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática

el residuo recolectado sin considerar sus datos para el análisis). Este peso representa (Wt) la cantidad total de basura diaria generada en todas las viviendas.

- ✓ Se dividió el peso total de las bolsas (Wt) entre el número total de personas (Nt), para obtener la generación per cápita diaria promedio de las viviendas muestreadas (kg/hab/día).

$$\text{Generación per cápita diaria de residuos (gpc)} = \frac{\text{Peso Total de Residuos (Wt)}}{\text{Número Total de Personas (Nt)}} \quad (14)$$

- ✓ Para determinar la generación total diaria se multiplicó la generación per cápita por el número de habitantes del

$$\text{Generación total diaria de residuos} = \text{GPC} \times \text{Nt (kg/día)} \quad (15)$$

- ✓ Se preparó un recipiente de aproximadamente 100 litros, que sirvió como depósito estándar para definir el volumen que ocupó el residuo. Se preparó también una balanza de digital.

- ✓ Se pesó el recipiente vacío (W1) y se determinó su volumen (V). Los datos que se tomaron en cuenta del depósito fueron: la altura (h) y su diámetro (d).

El volumen de ese recipiente es:

$$\text{Volumen (V)} = 0.7854 \times d^2 \times h \quad (16)$$

- ✓ Se depositó el residuo que fue utilizado en el cuarteo en el recipiente, sin hacer presión y se remeció de manera que se llenaron los espacios vacíos en dicho recipiente. Con la finalidad de no hacer cálculos adicionales, fue conveniente que el recipiente se encuentre lleno de residuos.

- ✓ Se Pesó el recipiente lleno (W2) y por diferencia se obtuvo el peso de la basura (W).

- ✓ La densidad de la basura se obtuvo dividiendo el peso de la basura (W) entre el volumen del recipiente (V).

$$\text{Densidad } D \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso del Residuo } W \text{ (Kg)}}{\text{Volumen de Residuo } V \text{ (m}^3\text{)}} \quad (17)$$

- ✓ Para realización de este trabajo se utilizó la muestra de un día. Se colocaron los residuos en una zona pavimentada o sobre un plástico grande, con la finalidad de no combinar los residuos con tierra.
- ✓ Se rompieron las bolsas y se vertió el desecho formando un montón. Con la finalidad de homogenizar la muestra, se trozaron los residuos más voluminosos hasta conseguir un tamaño que resulte manipulable de 15 cm o menos.
- ✓ El montón se dividió en cuatro partes (método de cuarteo) y se escogieron las dos partes opuestas para formar un nuevo montón más pequeño. La muestra menor se volvió a mezclar y se dividió en cuatro partes nuevamente, luego se escogieron dos opuestas y se formaron otra muestra más pequeña. Esta operación se repitió hasta obtener una muestra de 50 kg de basura o menos.
- ✓ Se separaron los componentes del último montón y se clasifican en: Papel y cartón o Madera y follaje, Restos de alimentos, Plásticos, Metales, Vidrio, Otros (caucho, cuero, tierra, etc.).
- ✓ Los componentes se clasificaron en recipientes pequeños.
- ✓ Con ayuda de una balanza digital se pesaron los recipientes pequeños vacíos antes de empezar la clasificación.
- ✓ Una vez concluida la clasificación, se pesaron los recipientes con los diferentes componentes y por diferencia se obtuvo el peso de cada componente.

- ✓ Se calculó el porcentaje de cada componente teniendo en cuenta los datos del peso total de los residuos recolectados en un día (Wt) y el peso de cada componente (Pi):

$$\text{Porcentaje (\%)} = \frac{P_i}{W_t} \times 100 \quad (18)$$

- ✓ Se repitió el procedimiento durante los siete días que dura el muestreo de los residuos. Hay que recordar que de los ocho días iniciales que dura el muestreo, se eliminaron la muestra del primer día por considerarla inútil.
- ✓ Para determinar el porcentaje promedio de cada componente, se efectuó un promedio simple, es decir sumando los porcentajes de todos los días de cada componente y dividiéndolo entre los siete días de la semana.

3.2.2. Secuencia Metodológica Para la Obtención del Potencial Energético de los Residuos Sólidos

- ✓ Dado que fue imposible determinar el poder calorífico de las muestras seleccionadas, se optó por utilizar datos de la bibliografía revisada para este trabajo.

IV. CALCULOS Y RESULTADOS

4.1. CALCULO DE LA GENERACION Y DEMÁS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS RESIDUOS

Es preciso indicar que el estudio de caracterización fue llevado a cabo en el distrito de Chimbote en el mes de abril del 2015.

4.1.1. Cálculo del Número de Viviendas Muestreadas

De acuerdo a la ecuación N° 13 se calculó el número de viviendas muestreadas, obteniendo un valor de 98 viviendas, las cuales fueron distribuidas en cuatro zonas respectivamente. A continuación se muestran los resultados de las muestras por zonas:

Cuadro N° 10: Número de Muestras por Zonas

Estrato Medio / Zonas	Muestra Proporcional	Porcentaje de Hogares (%)	Muestra Recomendada (15% de Contingencia)	Total de Hogares
ZONA 1	37	43.5	6	43
ZONA 2	35	41.2	5	40
ZONA 3	7	8.2	1	8
ZONA 4	6	7.1	1	7
TOTAL	85	100	13	98

i. Cálculo de la Generación Per cápita (GPC) y Generación Total (GT)

Haciendo uso de la ecuación N° 14 se calculó la GPC obteniendo un valor promedio de 0.73 kg/hab.día, a continuación se detalla este valor por zona.

CUADRO N° 11: Producción Per Cápita de Residuos Sólidos Municipales Generados en Diversos Estratos en el Distrito de Chimbote.

Estratos	Residuos generados en cada estrato	Núm. de viv. muestreadas	Núm. de hab.	Prom. de hab./viv.	GPC prom (kg/hab/día)	kg Prom /viv.
ZONA 1	919.21	43	187	4.35	0.68	3.04
ZONA 2	950.52	40	179	4.48	0.79	3.34
ZONA 3	230.50	8	45	5.57	0.72	4.04
ZONA 4	169.34	7	39	5.57	0.73	3.46
TOTAL	2269.67	98	450	5.3	0.73	3.64

Como la generación total de residuos está relacionada directamente con la cantidad de habitantes, se utilizó los datos del cuadro N° 13 del INEI para obtener la proyección de la población para el periodo 2015-2020.

CUADRO N° 12: Estimación, Proyección y Tasa de Crecimiento Poblacional de la Provincia de Santa – Chimbote 2015-2020.

DEPARTAMENTO, PROVINCIA Y PRINCIPAL CIUDAD	Tasa de Crecimiento (%)	AÑOS					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020
ANCASH - SANTA - CHIMBOTE	1.1	371,012	375,093	379,219	383,391	387,608	391,872

Fuente: INEI - Estimaciones, Proyecciones y Tasa de Crecimiento en la Provincia del Santa, Distrito de Chimbote, Periodo 2015 – 2020.

Obtenido la Generación per cápita de residuos sólidos del Distrito de Chimbote y la población de la Provincia del Santa para el año 2015, se calculó mediante la ecuación N° 15 la Generación total diaria y anual de residuos para el periodo 2015-2020, los cuales se muestran en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 13: Proyección de los Residuos Sólidos Generados por día y por año Periodo 2015 – 2020.

DEPARTAMENTO, PROVINCIA	AÑOS	POBLACIÓN	Generación de Residuos (Ton/día)	Generación de Residuos (Ton/año)
DEL SANTA	2015	371,012	270.83	98852.95
	2016	375,093	273.81	99940.65
	2017	379,219	276.83	101042.95
	2018	383,391	279.88	101.061.2
	2019	387,608	282.95	103276.75
	2020	391,872	286.06	104411.9

ii. Cálculo de la Densidad

La densidad se calculó mediante la ecuación N° 17, obteniendo como resultado, una densidad sin compactar promedio de 213.93 kg/m³.

CUADRO N° 14: Densidad de Residuos Sin Compactar Obtenidos del Análisis de 98 Muestras

	Peso Volumétrico Diario							PV
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	
	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³
Peso Volumétrico (PV)	207,23	201,58	198,61	212,40	222,33	219,65	231,17	213,28

iii. Cálculo del Volumen

Para el cálculo del volumen se utilizó los datos de densidad y generación total proyectada para el periodo 2015-2020, y mediante la fórmula N° 16 se determinó dicho volumen proyectado el cual se muestra en el siguiente cuadro.

CUADRO N° 15: Volumen de Residuos Proyectado para el Periodo 2015 - 2020

AÑOS	Generación de Residuos (Ton/día)	Volumen (m³)
2015	270.83	1265
2016	273.81	1280
2017	276.83	1294
2018	279.88	1308
2019	282.95	1323
2020	286.06	1337

iv. Cálculo de la Composición

La composición física de los residuos sólidos se calculó mediante la ecuación N° 18, siendo los resultados los que se muestran en el cuadro siguiente:

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
	<i>Kg</i>	%							
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

4.1.2. Cálculo del Potencial Energético de los Residuos Sólidos de la Provincia del Santa

Para cálculo del potencial energético de los residuos sólidos municipales se utilizaron los datos obtenidos de la composición y generación diaria para el periodo 2015 – 2020 según cuadro N° 18 y el dato de poder calorífico que se obtuvo de la bibliografía revisada y que se muestra en el cuadro N° 19.

CUADRO N° 17: Proyección de Residuos Sólidos Reaprovechables 2015-2020

Tipo de Residuos Sólidos	Composición Porcentual %	Años					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020
		<i>Generación de Residuos (Tn/día)</i>					
		270.83	273.81	276.83	279.88	282.95	286.06
Materia Orgánica	59.8	161.96	163.74	165.54	167.37	169.20	171.06
Papel	6.7	18.15	18.35	18.55	18.75	18.96	19.17
Residuos Sanitarios	5.8	15.71	15.88	16.06	16.23	16.41	16.59
Plástico PET, DURO	3.2	8.67	8.76	8.86	8.96	9.05	9.15
Telas, textiles	1.7	4.60	4.65	4.71	4.76	4.81	4.86
Madera, Follaje	1.1	2.98	3.01	3.05	3.08	3.11	3.15
Caucho, cuero, jebe	0.5	1.35	1.37	1.38	1.40	1.41	1.43
Total	78.8	213.41	215.76	218.14	220.55	222.96	225.42

CUADRO N° 18: Poder Calorífico de los Residuos Sólidos Urbanos

Residuos Sólidos Urbanos	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)
Materia Orgánica	3051
Madera	4293.4
Papel	2175.6
Plástico	4800
Textil	2128.26
caucho	7480
Residuo de baño	16152

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

i. Cálculo de la Generación diaria de Energía Eléctrica Proyectada en el Periodo 2015 – 2020

En el siguiente cuadro de muestra la cantidad de energía generada por tipo de residuo sólido y la producción diaria de energía eléctrica para el periodo 2015 – 2020.

CUADRO N° 19: Proyección de Generación Diaria de Energía 2015-2020

Tipo de Residuos Sólidos	Poder Calorífico Inferior (MJ/kg)	Producción Diaria de Energía (MW/día)					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020
Materia Orgánica	12.77	23.94	24.21	24.48	24.74	25.02	25.29
Madera, Follaje	17.98	3.78	3.82	3.86	3.90	3.94	3.99
Papel	9.11	1.66	1.67	1.69	1.71	1.73	1.75
Plástico PET	20.10	2.02	2.04	2.06	2.08	2.11	2.13
Telas, textiles	8.91	0.47	0.48	0.49	0.49	0.50	0.50
Caucho, cuero, jebe	31.32	1.08	1.09	1.10	1.12	1.13	1.14
Residuos Sanitarios	67.63	1.06	1.07	1.08	1.10	1.11	1.12

CUADRO N° 20: Proyección de Generación Anual de Energía 2015-2020

Tipo de Residuos Sólidos	Poder Calorífico Inferior (MJ/kg)	Producción Anual de Energía (MW/día)					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020
Materia Orgánica	12.77	8739.80	8835.97	8933.42	9031.85	9130.92	9231.28
Madera, Follaje	17.98	1377.95	1393.11	1408.48	1424.00	1439.62	1455.44
Papel	9.11	604.46	611.11	617.85	624.66	631.51	638.45
Plástico PET	20.10	735.78	743.88	752.08	760.37	768.71	777.16
Telas, textiles	8.91	173.31	175.22	177.15	179.10	181.07	183.06
Caucho, cuero, jebe	31.32	394.14	398.48	402.87	407.31	411.78	416.31
Residuos Sanitarios	67.63	386.86	391.12	395.43	399.79	404.17	408.62
TOTAL		12412.31	12548.88	12687.29	12827.07	12967.77	13110.31

ii. Calculo de la Generación Diaria de Energía Eléctrica por Tipo de Proceso

Térmico

Para este cálculo se utilizó datos de la energía generada por tipo de proceso térmico según se muestra en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 21: Energía Generada por Procesos Térmicos

Proceso de Conversión Térmica	Energía Generada (MW/Ton)
Incineración	0.48
Gasificación	0.61
Pirolisis	0.80

Fuente: Otero, F.A. (2015). Cuantificación del Poder Calórico Superior e Inferior de los Residuos Sólidos Urbanos: Textil, y Mixto Generados en el Distrito Metropolitano de Quito.

A continuación se presentan el resultado del cálculo de la proyección de energía generada diariamente por los diferentes procesos térmicos descritos en la parte teórica.

- **Energía Generada Por el Proceso Térmico de Incineración**

CUADRO N° 22: Producción Diaria de Energía Mediante Proceso de Incineración Para el Periodo 2015 - 2020

Generación de Energía por Proceso de Incineración (MW/Ton)	Años					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	Generación de Residuos Tn/día					
0.48	213.41	215.76	218.14	220.55	222.93	225.42
Producción de Energía (MW/día)	102.44	103.56	104.71	105.86	107.01	108.20
Autoconsumo 15% (MW/día)	15.37	15.53	15.71	15.88	16.05	16.23
Energía Exportada (MW/día)	87.07	88.03	89.00	89.98	90.96	91.97
Reducción de Peso 70% (Tn/día)	64.02	64.73	65.44	66.17	66.88	67.63
Volumen reducido 90% (m ³ /día)	14.29	14.44	14.60	14.77	14.93	15.1

- **Energía Generada Por El Proceso Térmico de Pirolisis**

CUADRO N° 23: Producción Diaria de Energía Mediante Proceso de Pirolisis Para el Periodo 2015 - 2020

Generación de Energía por Proceso de Pirolisis (MW/Ton)	Años					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	Generación de Residuos Tn/día					
0.8	213.41	215.76	218.14	220.55	222.93	225.42
Producción de Energía (MW/día)	170.73	172.61	174.51	176.44	178.34	180.34
Autoconsumo 8% (MW/día)	13.66	13.81	13.96	14.12	14.27	14.43
Energía Exportada (MW/día)	157.07	158.80	160.55	162.32	164.08	165.91
Reducción de Peso 92% (Tn/día)	17.07	17.26	17.45	17.64	17.83	18.03
Volumen reducido 97.8% (m ³ /día)	31.43	31.78	32.13	32.48	32.84	33.20

- **Energía Generada Por El Proceso Térmico de Gasificación**

CUADRO N° 24: Producción Diaria de Energía Mediante Proceso de Gasificación Para el Periodo 2015 - 2020

Generación de Energía por Proceso de Gasificación	Años					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0.61	213.41	215.76	218.14	220.55	222.93	225.42
Producción de Energía (MW/día)	128.05	129.46	130.88	132.33	133.76	135.25
Autoconsumo 5% (MW/día)	25.61	25.89	26.18	26.47	26.75	27.05
Energía Exportada (MW/día)	102.44	103.56	104.71	105.86	107.01	108.20
Reducción de Peso 88% (Tn/día)	25.61	25.89	26.18	26.47	26.75	27.05
Volumen reducido 95% (m ³ /día)	71.44	72.22	73.02	73.82	74.63	75.45

V. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

Debido a la escasa información respecto a los costos y aspectos técnicos de los procesos térmicos para la valorización energética de los residuos sólidos municipales en Latinoamérica, se optó por buscar información en la bibliografía, para este caso se utilizó los datos proporcionados por el informe de “Renewable Energy Information Office” del Reino Unido; a continuación se detalla los costos de inversión y operación para los procesos térmicos descritos.

i. Plantas de Incineración

- ✓ El Costo por tonelada instalada corresponde a la sumatoria de los costos de estudio previos, desarrollo de proyecto de instalación, compra terreno; divididos por las toneladas /día capaz de operar la planta.

Corresponde a un rango de valores ya que no existe un sistema estándar y algunas plantas pueden incluir más o menos unidades respecto de otras de igual capacidad de operación.

- ✓ El costo de inversión por tonelada instalada está entre US\$125.000 y US\$ 160.000.
- ✓ Una planta de incineración con recuperación de energía con capacidad de 100.000 a 200.000 ton/año tiene un costo entre 28 y 59 millones de dólares.
- ✓ Los costos de operación en los países de la Unión Europea por tonelada incinerada de residuos sólidos no peligrosos oscilan entre los US\$30 y US\$ 125. En Estados Unidos costo promedio: US\$ 60/ton.

ii. Plantas de Pirólisis

- ✓ Los costos de inversión por tonelada al año oscilan entre los US\$ 210 - 340.
Es decir una planta para 100.000 ton/año tendrá un costo de inversión de entre US\$ 18 y 34 millones.
- ✓ Los costos de operación oscilan entre los 30 y 70 dólares por tonelada.

iii. Plantas de Gasificación

- ✓ Los costos de inversión por tonelada al año están entre US\$200 – US\$350.
- ✓ Los costos de operación oscilan entre los US\$40 y US\$85 por tonelada.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 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 la provincia del santa, 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 Chimbote obtenida en el mes de abril del 2015, 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.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- De las etapas del manejo de los residuos sólidos municipales se pudo determinar que sólo se realizan la segregación en la fuente, el reaprovechamiento, almacenamiento, recolección, transporte, y disposición final.
- La generación per cápita de residuos obtenida en el estudio de caracterización realizado en el mes de abril del año 2015 en el Distrito de Chimbote es de 0.73 kg/hab.día y la generación total es de 270.83 Tn/día.
- La densidad de los residuos obtenido en el estudio de caracterización realizado en el mes de abril del año 2015 en el Distrito de Chimbote es de 213.28 kg/m³.
- El volumen de residuos sólidos generado diariamente según el estudio de caracterización realizado en el mes de abril del año 2015 en el Distrito de Chimbote es de 1265 m³.
- Los composición de los residuos sólidos reaprovechables obtenido en el estudio de caracterización realizado en el mes de abril del año 2015 en el Distrito de Chimbote es de 78%, siendo el 59.84% materia orgánica, 6.7% papel, 5.8% residuos sanitarios, 3.2 plásticos pet y duro, 1.7% telas y textiles, 1.1% madera y follaje, 0.5% caucho y jebe.
- La energía generada diariamente por los residuos sólidos en el provincia del santa para el año 2015 mediante el proceso térmico de Incineración es de 87.07 MW/día, mediante la Gasificación es de 102.44 MW/día y mediante la Pirolisis es de 157.07 MW/día.

7.2. 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.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

8.1. BIBLIOGRAFÍA

- Castells, X. E. (2000). Reciclaje de Residuos Industriales: Aplicación a la fabricación de materiales para la construcción. Ediciones Díaz de Santos.
- Elías, X. E. (2009). Reciclaje de residuos industriales: residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. Ediciones Díaz de Santos.
- Ferrando, M. & Granero, J. (2011). Gestión y Minimización de Residuos. España: Editorial Fundación Confemetal.
- Castells, X. E. (2012). Tratamiento y valorización energética de residuos. Ediciones Díaz de Santos.
- Casillo, M. (2012). Determinación de la Composición y Densidad de los Residuos Sólidos Urbanos del Distrito Metropolitano de Quito con fines de aprovechamiento energético y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. (Tesis de Ingeniería Ambiental). Universidad Internacional SEK, Quito.
- Cedano de León, D. (2012). Valorización Energética de Residuos Como Combustibles Alternativos en Plantas Cementeras. (Tesis de Máster). Universidad Politécnica de Valencia.
- Orellana, D. (2012). Análisis de Residuos Sólidos Urbanos del DMQ Para Cuantificación de Carbono y Metano Como Gas de Efecto Invernadero. (Tesis de Ingeniería Ambiental). Universidad Internacional Sek, Quito.
- Ribadeneira, J. (2014). Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos del Distrito Metropolitano de Quito. (Tesis de

Ingeniería Ambiental) Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales, Quito.

- Ops/Cepis (2002) “Indicadores para el Gerenciamiento del Servicio de Limpieza Pública”. Recuperado el 28 de julio del 2015 de: www.ambiente-ecologico.com
- Pala, H. (2006). Estudio del potencial energético a partir de los residuos sólidos en algunos distritos del cono norte de Lima. Tesis para Ingeniero Mecánico de Fluidos. Universidad Mayor de San Marcos. Recuperado el 13 de agosto del 2015 de: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/2630/1/pala_rh.pdf
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2010). Guía de la Valorización Energética de Residuos. Recuperado el 18 de enero del 2015 desde <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-de-valorizacion-energetica-de-residuos-fenercom-2010.pdf>
- Resa. (2011). Situación y Potencial De Valorización Energética Directa De Residuos. Recuperado el 09 de septiembre del 2015 de: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e15_residuos_c3ead071.pdf
- 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-residuos-solidos-municipales-no-municipales>
- INEI. Estimaciones y Proyecciones de Población por Sexo, según Departamento, Provincia y Distritos. Recuperado el 17 de abril del 2015 de:

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1157/libro.pdf

ANEXO N° 01

**Fotografías del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales –
Distrito Chimbote**



Foto 1. Pesado de Muestras



Foto 2. Cálculo del Volumen



Foto 3. Mescla de las Muestras



Foto 4. Método del Cuarteo



Foto 5. Caracterización de Residuos



Foto 6. Residuos Separados por Tipo