

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

TESIS:

**“ANÁLISIS DE LA VALORACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO”**

Realizado por:

Marco Antonio Villamarín Arcos

Directora Tesis:

Ing. Katty Coral Carrillo

**Como requisito para la obtención del título de:
MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Quito, 31 de julio de 2015

DECLARATORIA JURAMENTADA

Yo, Marco Antonio Villamarín Arcos, con cédula de identidad número 1712295185, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado de calificación profesional; y, que ha consultado referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente.

Marco Antonio Villamarín Arcos

C.I.:1712295185

DECLARATORIA

La Tesis titulada:

“ANÁLISIS DE LA VALORACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS
DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO”

Realizado por:

Marco Antonio Villamarín Arcos

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Ha sido dirigida por la Profesora

Katty Coral Carrillo

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor

Katty Coral Carrillo

DECLARATORIA PROFESORES TRIBUNALES

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

Jorge Oviedo Costales

Ana Rodríguez Machado

Después de revisar el trabajo presentado por el estudiante MARCO ANTONIO

VILLAMARÍN ARCOS

Lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador

Jorge Oviedo Costales

Ana Rodríguez Machado

Quito, 31 de julio de 2015

CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCION.....	1
1.1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.2. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.3. PRONÓSTICO.....	3
1.1.4. CONTROL DE PRONÓSTICO.....	3
1.1.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.1.6. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.1.7. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.1.8. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	4
1.1.9. JUSTIFICACIONES.....	4
1.1.10. HIPÓTESIS.....	5
1.1.11. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES.....	5
CAPÍTULO II.....	7
2. MARCO TEORICO.....	7
2.1. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA.....	9
2.2. Adopción de una perspectiva teórica.....	10
2.3. Marco conceptual.....	10
2.3.1. Residuos urbanos.....	10
2.3.2. Poder calorífico.....	10
2.3.3. Valorización energética.....	11
2.3.4. Condiciones que debe reunir un sistema de tratamiento térmico.....	30
CAPITULO III.....	33
3. MÉTODOLÓGÍA.....	33

3.1.	Nivel de estudio.....	33
3.2.	Modalidad de investigación.....	33
3.3.	Método	33
3.4.	Población y muestra	34
3.5.	Materiales y equipos.....	34
3.6.	Validez y confiabilidad de los instrumentos	34
3.7.	Procesamiento de datos	34
3.7.1.	Cálculo de los residuos sólidos urbanos en el periodo 2015 – 2020	34
3.7.2.	Valorización energética de los residuos sólidos urbanos por incineración	35
CAPITULO III		37
4.	RESULTADOS	37
4.1.	Incineración.....	37
4.1.1.	Producción de energía eléctrica periodo 2015 – 2020.....	37
4.2.	Gasificación.....	40
4.3.	Pirólisis.....	41
4.4.	Análisis de resultados.....	42
4.5.	Ventajas y desventajas que presentan los sistemas de valorización energética de residuos sólidos urbanos.....	44
4.5.1.	Análisis DAFO para la valorización energética de los residuos sólidos urbanos por incineración.	44
4.5.2.	Análisis DAFO para la valorización energética de los residuos sólidos urbanos por gasificación.....	45
4.5.3.	Análisis DAFO para la valorización energética de los residuos sólidos urbanos por pirólisis. 46	
CAPITULO V		49
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
5.1.	Conclusiones	49

5.2. Recomendaciones.....	50
CAPITULO VI.....	52
6. BIBLIOGRAFIA.....	52
CAPÍTULO VII.....	62
7. ANEXOS.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Composición de los residuos sólidos urbanos del Distrito Metropolitano de Quito.....	8
Tabla N° 2: porcentaje de humedad en papel, cartón, textiles y orgánicos.....	9
Tabla N° 3: residuos secos papel, cartón, textiles y orgánicos.....	9
Tabla N° 4: Funciones de una planta incineradora.....	12
Tabla N° 5: Principales emisiones a la atmósfera producto de la incineración de los residuos sólidos urbanos.....	23
Tabla N° 6: Rangos de aplicación de la valorización energética de los residuos sólidos urbanos por tratamiento térmico.....	23
Tabla N° 7: Método que se aplica al tipo de residuo a tratar.....	27
Tabla N° 8: Comparación del tratamiento térmico de los residuos sólidos urbanos entre los diferentes métodos.....	30
Tabla N° 9: Proyección de los residuos sólidos urbanos generados por día periodo 2015 – 2020.....	35
Tabla N° 10: Proyección de los residuos sólidos urbanos incinerables periodo 2015 – 2016.....	35
Tabla N° 11: Poder calórico de los residuos sólidos urbanos.....	36
Tabla N° 12: producción de energía eléctrica exportada por tonelada de RSU gasificado en el periodo 2015 – 2020.....	41
Tabla N° 13: producción de energía eléctrica exportada por tonelada de RSU tratado mediante pirólisis en el periodo 2015 – 2020.....	41
Tabla N° 14: comparación producción de energía generada para exportación de cada sistema.....	42
Tabla N° 15: Ventajas y desventajas que presentan los sistemas de valorización energética de residuos sólidos urbanos.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estación de transferencia ET1.....	7
Figura 2. Estación de transferencia ET2.....	7
Figura 3: relleno sanitario del Inga.....	8
Figura N° 4: Diagrama de flujo de una planta de incineración con reciclaje parcial, compostaje y generación de energía eléctrica.....	14
Figura N° 5: Diagrama de flujo de una instalación de incineración.....	14
Figura N° 6: Esquema de incineración de un horno de parrilla.....	17
Figura N° 7: Planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos.....	18
Figura N° 8: Esquema de horno de lecho fluidizado.....	21
Figura N° 8: Esquema de un horno rotatorio.....	22
Figura N° 9: Esquema del proceso de gasificación.....	25
Figura N° 10: Esquema del sistema de gasificación.....	26
Figura N° 11: Diagrama del proceso de pirólisis.....	27
Figura N° 12: Diagrama de flujo simplificado de una planta de pirólisis.....	28

RESUMEN

La valorización energética de los residuos sólidos urbanos constituyen métodos de tratamiento térmico que están constituidos por: incineración, gasificación y pirólisis, son métodos efectivos de los que se obtiene beneficios directos de los desechos al generar energía eléctrica, hidrocarburos y productos que pueden ser aprovechados en la construcción como la ceniza y escoria para fabricar ladrillos; de la misma manera se puede aprovechar los metales que no se pudieron ser separados antes de que ingresen a estos procesos. También se constituye en la mejor forma de gestionar los residuos sólidos urbanos de una ciudad o poblado ya que al someterlos a este proceso el volumen de estos se reduce entre un 90 y 95%, permitiendo de esta manera que los rellenos sanitarios aumenten su vida útil.

La incineración de residuos sólidos urbanos, constituye la mejor forma de tratar los residuos en el Distrito Metropolitano de Quito ya que las características que estos presentan una humedad alta y un poder calorífico inferior bajo, son tratados con mayor eficiencia con este método.

La generación eléctrica producida con este método puede reemplazar a una central termoeléctrica, de esta manera se reduce el consumo de hidrocarburos que generan gases efecto invernadero.

Palabras Clave: valorización, energética, residuos

SUMMARY

Energy recovery from municipal solid waste is heat treatment methods which are constituted by: incineration, gasification and pyrolysis, are effective methods of those who direct benefits of waste is obtained to generate electricity, hydrocarbons and products that can be leveraged in construction as ash and slag to make bricks; in the same way you can take advantage metals that failed to be separated before entering these processes. Also constitute the best way to manage solid waste in a city or village and that when subjected to this process the volume of these is reduced from 90 to 95%, thus allowing increasing landfill life.

The incineration of municipal solid waste is the best way of dealing with waste in the Metropolitan District of Quito and the characteristics that these have a high humidity and a low calorific value, are treated more efficiently with this method.

Electrical generation produced by this method can replace a power plant, so that oil consumption generate greenhouse gases is reduced.

Keywords: recovery, energy, waste.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCION

La gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU), es un problema que se presenta en todos los países del mundo y en especial en las ciudades con gran concentración de habitantes y con niveles de desarrollo que llevan a la generación de grandes cantidades de residuos (OLADE, 1996).

La valorización energética se fundamenta en la recuperación de energía de los residuos desechados por los habitantes de una ciudad y su reincorporación al sistema productivo (OLADE, 1996). La valorización energética se logra mediante varios procesos como la incineración, gasificación, pirólisis, etc., esta energía es utilizada para procesos industriales, generación de combustible o para la generación de energía eléctrica.

El “Análisis de la valoración energética de los residuos sólidos urbanos del Distrito Metropolitano de Quito”, pretende indicar como beneficiará la valorización energética de los residuos sólidos urbanos (RSU), para la generación de energía eléctrica.

Una mejor disposición de los RSU, mediante la valorización energética de estos, es una técnica que permite reducirlos, de una forma rápida y eficiente; paralelamente se contribuye a alargar la vida útil de los rellenos sanitarios, producción de combustible y generación de energía eléctrica.

1.1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La valorización energética de los RSU en Quito, es una actividad que no se ha desarrollado hasta el momento, existe escasa información sobre este tema. La información de la que se dispone es de investigaciones realizadas por la Universidad Internacional SEK.

Los RSU generados son depositados en el relleno sanitario del INGA, sin que sean aprovechados aplicando algún método de valorización energética, para la generación de energía eléctrica o elaboración de combustibles.

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La disposición final de los RSU en rellenos sanitarios, para posteriormente cubrirlos con suelo y luego compactarlos con maquinaria pesada que permita una reducción de su volumen y alargar la capacidad de acogida de los mismos, el aumento de la población y como consecuencia de esto el aumento en la producción de desechos, va acortando la vida útil de los rellenos sanitarios, obligando de esta manera a que se realice una nueva búsqueda de espacios físicos para sustituir rellenos que han terminado su función. Una alternativa para alargar la vida útil los rellenos sanitarios es el aprovechamiento energético de los RSU, para la producción de combustibles o generación de energía eléctrica, mediante la valorización energética, aplicando métodos como la incineración, gasificación o pirólisis.

1.1.2. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

El crecimiento de la población y la falta de espacios para la construcción de más rellenos sanitarios han provocado que los RSU sean aprovechados de una mejor forma, produciendo energía eléctrica o combustibles, de esta manera se minimizan los impactos al ambiente y se soluciona el problema de búsqueda de más áreas para la disposición final de los residuos.

1.1.3. PRONÓSTICO

La valorización energética de los RSU es un método que contribuirá a una mejor gestión de los residuos, mediante procesos térmicos, estos serán transformados en combustible o servirá para la generación de energía eléctrica que se utilizarán para el autoconsumo de la planta incineradora y el excedente se podrá indexar al sistema nacional interconectado, esta técnica también aportará para que los rellenos sanitarios tengan un periodo de vida útil más prolongado.

1.1.4. CONTROL DE PRONÓSTICO

La valorización energética de los RSU, es un proceso que permite la gestión integral de los mismos; reduciendo su peso y volumen hasta en un 95%, protege al ambiente, si se emplea tecnología fiable que permita una depuración de gases, esta tecnología además presenta la ventaja de disminuir la necesidad de los vertederos o rellenos sanitarios y sus consecuentes afectaciones al ambiente y a las comunidades aledañas (Fernández 2007).

1.1.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo el análisis de la valoración energética de residuos sólidos urbanos del distrito metropolitano de Quito ayudará en la selección de un mejor método para la gestión de residuos sólidos urbanos y la generación de energía?

1.1.6. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Qué es la valorización energética de los residuos sólidos urbanos (RSU)?
- ¿Cuáles son los métodos de valorización energética de los RSU?
- ¿Se ha implementado algún método de valorización energética de los RSU en el Distrito Metropolitano de Quito?
- ¿Cuál es el método de valorización energética de los RSU que se adapte a las necesidades del Distrito Metropolitano de Quito?

1.1.7. OBJETIVO GENERAL

Conocer y analizar las tecnologías de valorización energética de los residuos sólidos urbanos y su situación actual en el Distrito Metropolitano de Quito.

1.1.8. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Disponer de información técnica para proponer el aprovechamiento del potencial energético de los residuos sólidos urbanos.
- Establecer la mejor metodología para la valorización energética de los residuos sólidos urbanos.
- Conocer la cantidad de energía eléctrica que se producirá mediante la valorización de los RSU.

1.1.9. JUSTIFICACIONES

- Justificación teórica.

Es importante que se conozca las diferentes tecnologías para el aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos, que permitan una mejor gestión de los mismos de esta manera se logrará una mayor vida útil de los rellenos sanitarios disponibles.

La valoración energética de los residuos sólidos urbanos se la realiza mediante el tratamiento térmico de los mismos por diferentes métodos como son: incineración, gasificación, pirolisis, etc., (INTI 2010).

- Justificación metodológica.

El análisis de la valoración energética de los residuos sólidos se lo realizará mediante la investigación bibliográfica de Tesis disponibles en la UISEK, que tratan sobre el tema y la revisión de textos en los cuales se trata sobre la gestión de residuos sólidos urbanos mediante la valorización energética de estos aplicando procesos de combustión para producir combustible o generar energía eléctrica.

- **Justificación práctica.**

El proyecto de investigación de “Análisis de la valoración energética de los residuos sólidos urbanos de Quito, se lo realiza para proporcionar información para un mejor aprovechamiento energético que tienen los residuos sólidos urbanos generados en la ciudad. La presente investigación se la realiza para gestionar de mejor manera los residuos sólidos generados en la ciudad de Quito que cada día siguen aumentando conforme va creciendo la población, utilizando su potencial energético para producir combustible y generar energía eléctrica.

- **Justificación social.**

Con esta investigación se beneficiará a la ciudad de Quito, recomendando la mejor técnica de valorización energética de residuos sólidos urbanos, que contribuirá al incremento de generación de energía eléctrica, lo que permitirá tener una menor dependencia de las fuentes termoeléctricas. También se gestionará de mejor manera los desechos, debido a que los residuos serán aprovechados para la generación de energía.

1.1.10. HIPÓTESIS.

El análisis de la valorización energética de los residuos sólidos urbanos del Distrito Metropolitano de Quito, contribuirá a recomendar una mejor gestión de los residuos sólidos urbanos, minimizar los riesgos generados al ambiente y a las personas debido a que los desechos serán aprovechados para generación de energía y la vida útil de los rellenos sanitarios aumentará.

1.1.11. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES

- Residuos sólidos urbanos (RSU) (variable independiente): determinación y cuantificación de los (RSU) que se utilizarán para la valorización energética, para la generación de combustibles o energía eléctrica.

- Métodos de valorización energética (variable dependiente): métodos de valorización energética como: combustión, pirólisis y gasificación; para la producción de combustible o generación de energía eléctrica.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, por intermedio de la Empresa Pública Metropolitana de Aseo (EMASEO EP) se encarga de la recolección de los desechos sólidos urbanos generados en la ciudad de Quito, la recolección se lo hace mediante vehículos adecuados para el efecto. Datos suministrados por la empresa indican que se recoge aproximadamente 1700 toneladas de residuos diarias, en promedio se calcula que cada habitante desecha 0,76kg/día (EMASEO EP, 2012), citado por (Ribadeneira, 2014).

Los desechos son depositados en dos estaciones de transferencia: ET1 ubicada en Quitumbe en el Sur de la ciudad y ET2 localizada en la entrada de Zambiza (Orellana 2012), citado por (Barriga, 2014), como se observa en las figuras 1 y 2.

Figura 1. Estación de transferencia ET1



Tomado de (Barriga, 2014)

Figura 2. Estación de transferencia ET2



Tomado de (Barriga, 2014)

Los desechos que se disponen en el relleno sanitario del Inga (ver Figura 3) provienen principalmente de las ET1 y ET2. El relleno tiene como objetivo la disposición final de los desechos de una manera técnica, minimizando las afectaciones ambientales y sociales (EMGIRS – EP).

Figura 3: relleno sanitario del Inga.



Tomado de: <http://emgirs.gob.ec/index.php/operaciones/relleno-sanitario> s.f.

Tabla N° 1: Composición de los residuos sólidos urbanos del Distrito Metropolitano de Quito. Tomado de: Fondo Ambiental del Municipio del DMQ y FLACSO, 2011 citado por (Orellana 2012).

Residuos sólidos urbanos (RSU)	Porcentaje (%)
ORGÁNICO	62,18
RESIDUO DE BAÑO	7,69
PAPEL	8,15
TEXTILES	2,11
VIDRIO	3,27
PLÁSTICO	13,12
MADERA	0,52
METALES	1,24
RESIDUOS DE OFICINA	0,01
ESCOMBROS	0,17
CAUCHO	1,03

Los RSU (papel, cartón, textiles y orgánicos) tienen humedad y para su aprovechamiento o valorización energética se necesitan secos, estos valores se detallan en las tablas número 2 y 3, de las estaciones de transferencia 1 y 2.

Tabla N° 2: porcentaje de humedad en papel, cartón, textiles y orgánicos

Estación	Tipo de residuo, humedad en porcentaje (%)		
	Papel y cartón	Textiles	Orgánicos
ET1	18,49	28,21	64,23
ET2	35,04	15,09	71,16

Tomado de: (Dueñas, 2012) citado por (Orellana, 2012)

Tabla N° 3: residuos secos papel, cartón, textiles y orgánicos

Estación	Toneladas de residuos secos		
	Papel y cartón	Textiles	Orgánicos
ET1	46,5	10,6	174,96
ET2	42,35	14,33	161,23

Tomado de: (Dueñas, 2012) citado por (Orellana, 2012).

Para gestionar de mejor manera los residuos y dar una mayor vida útil a los rellenos sanitarios se realiza la valorización energética de los residuos, procedimiento que permite aprovechar la energía que estos contienen mediante tratamientos principalmente térmicos; este tratamiento permite la reducción del volumen de los residuos, para una mejor gestión (Castillo, 2012).

La valorización energética también puede considerarse a la utilidad de un residuo que sustituye a otros materiales cuya producción hubiera necesitado el consumo energético (Ayala, 2013).

2.1. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA

La recolección de los desechos originados en el Distrito Metropolitano de Quito lo realiza EMASEO EP y lo traslada al relleno sanitario de El INGA, se calcula que se recogen 1700 toneladas por día, (EMASEO EP, 2012) citado por (Ayala, 2013).

La Universidad Internacional SEK, ha llevado proyectos que contribuyen al estudio de la valorización energética de los RSU como: “Valorización físico química de los residuos sólidos urbanos del Distrito Metropolitano de Quito con fines de aprovechamiento energético y reducción de gases de efecto invernadero”, “Determinación de la composición y densidad de los residuos sólidos urbanos del Distrito Metropolitano de Quito con fines de aprovechamiento energético y reducción de gases efecto invernadero”, realizado por Castillo (2012), (Ayala, 2013). De acuerdo

a estos estudios, es viable el aprovechamiento energético de los residuos para la generación de energía.

2.2. Adopción de una perspectiva teórica

La valorización energética de residuos consiste en el aprovechamiento de los residuos para generar energía, que contribuyen al proceso productivo, sin poner en peligro al ambiente y a la sociedad (Cedano de León, 2012).

Se analizarán tecnologías con las que se pueden valorizar los RSU como la: incineración, gasificación y pirólisis.

Estas tecnologías minimizarán el vertido de los RSU a los rellenos sanitarios.

2.3. Marco conceptual

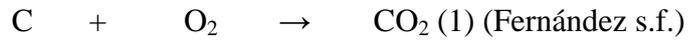
2.3.1. Residuos urbanos

Son residuos que provienen de actividades animales y humanas, se encuentran en estado sólido y se desechan como inservibles, se entiende por residuos urbanos los que son producidos por conglomerados o poblaciones o áreas de influencia a estas.

Una definición más integral manifiesta que los residuos urbanos son los producidos en los domicilios, oficinas, comercios y servicios; así como también los residuos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los lugares o actividades anteriores. Se distinguen entre otros como residuos urbanos a los siguientes: residuos provenientes de la limpieza de las vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y las playas, animales muertos, enseres, muebles y vehículos abandonados, residuos y escombros provenientes de obras pequeñas de construcción o reparación domiciliaria (Alonso et al, 2003).

2.3.2. Poder calorífico

Según Fernández s.f. el poder calorífico es la cantidad de calor que entrega un kilogramo o un metro cúbico de combustible al oxidarse completamente y se mide en: kcal/kg, kcal/m³), (BTU/lb); (BTU/pe³).



El poder calorífico se divide en: poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI).

- 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.).

2.3.3. Valorización energética

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

La valorización energética constituye el aprovechamiento del poder calórico que tienen los residuos, cuando estos puedan ser utilizados como combustibles (Pala, 2006).

Existen diferentes procesos para el aprovechamiento del poder calorífico de los residuos sólidos urbanos entre los cuales se distinguen los siguientes: incineración, gasificación y pirólisis.

2.3.3.1. Incineración

“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 ostensiblemente 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.

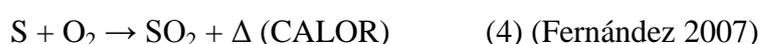
El principal objetivo de la incineración de los residuos sólidos urbanos es la reducción de su volumen y peligrosidad, como segundo objetivo es recuperar el poder energético de estos para generar energía eléctrica y como tercer objetivo es el alargar la vida útil de los rellenos sanitarios.

Tabla N° 4: Funciones de una planta incineradora

Proceso	Equipo
Destrucción 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	

Tomado de 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.

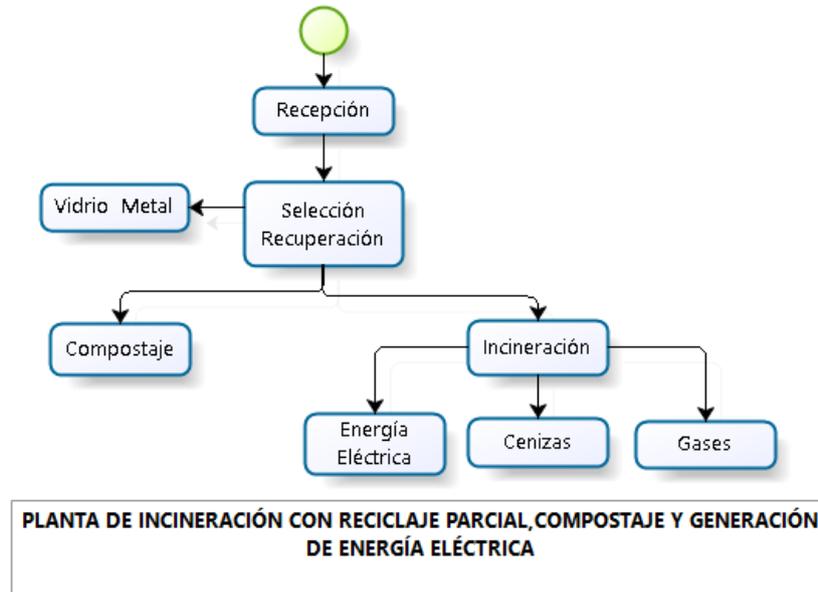
La incineración se realiza en plantas construidas para el tratamiento térmico de residuos. En estas plantas los residuos sólidos sirven para generar energía eléctrica, mediante la producción de vapor que mueve una turbina que impulsa un generador eléctrico. Altos contenidos de humedad y materia orgánica 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).

Figura N° 4: Diagrama de flujo de una planta de incineración con reciclaje parcial, compostaje y generación de energía eléctrica.



Powered by
bizagi
Modeler

Tomado de OLADE 1996

Figura N° 5: Diagrama de flujo de una instalación de incineración.

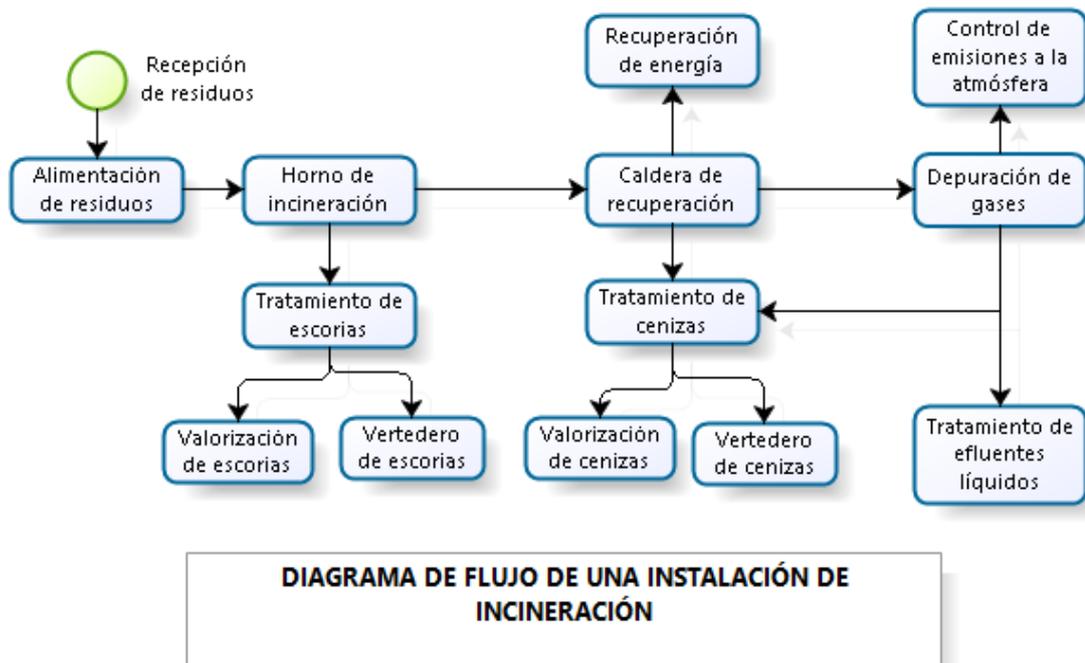


DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA INSTALACIÓN DE INCINERACIÓN

Powered by
bizagi
Modeler

Tomado de Romero, 2010.

2.3.3.1.1. Métodos de Incineración

Existen tres métodos para incinerar residuos sólidos urbanos:

a) Hornos 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

- Pirólisis – 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 H₂, CO, CH₄, C₂H₅, 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 CO₂, y se use 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.

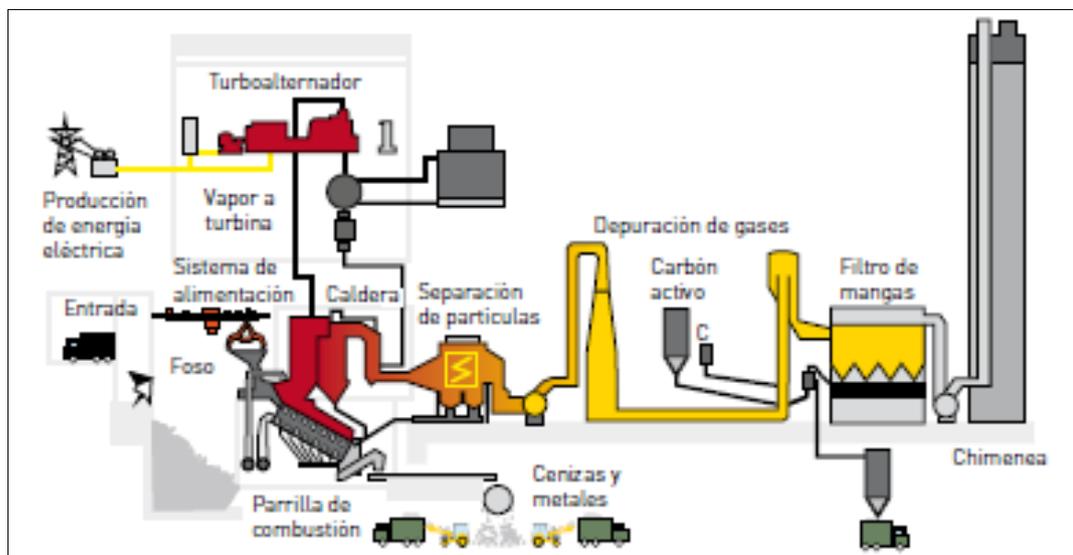
Las escorias se reutilizan en obra civil o plantas cementeras, el tiempo de permanencia del residuo dentro del horno de parrilla es de 45 a 90 minutos.

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 calorífico inferior del residuo entrante (FENERCOM, 2010).

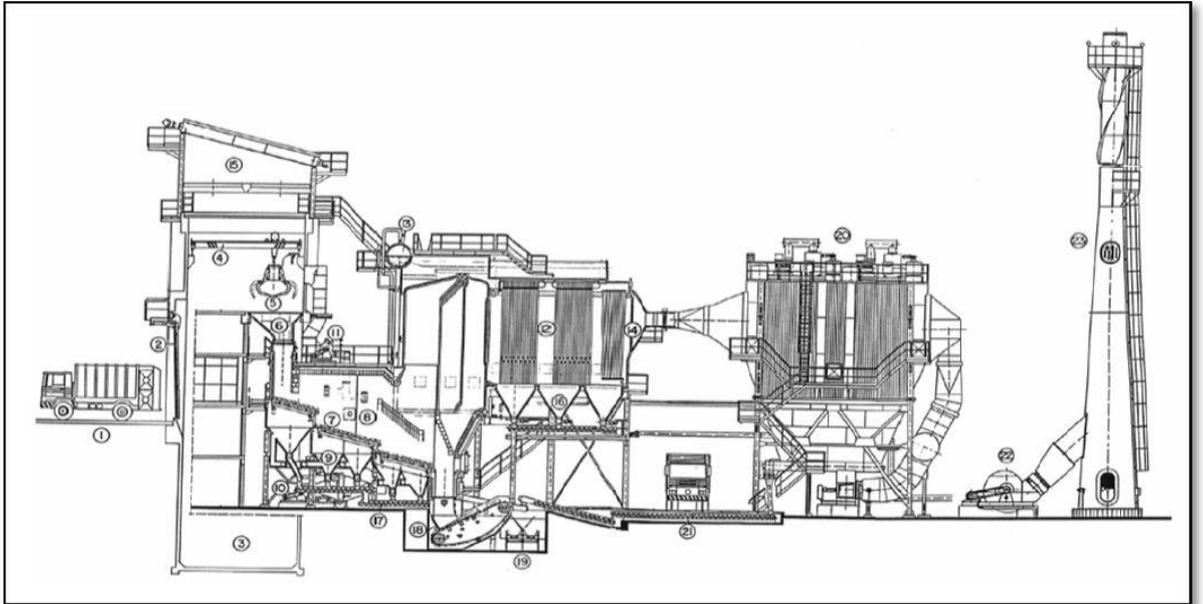
La nueva tecnología de estos hornos enfrían las tejas del suelo mediante agua fría que las recorre interiormente de esta manera puede procesar residuos sólidos urbanos de mayor poder calorífico inferior (P.C.I.), hasta 4500 kcal/kg, las paredes del horno se forran con refractario por dentro permitiendo que al exterior no sobrepase valores de 40 °C (FENERCOM, 2010).

Figura N° 6: Esquema de incineración de un horno de parrilla



Esquema de incineración de un horno de parrilla. Tomado de: RESA 2011.

Figura N° 7: Planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos



Planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos. Tomado de: Recíclame 2015.

1. Plataforma de descarga.
2. Puertas de la fosa.
3. Fosa de basura.
4. Puente – grúa.
5. Cuchara de trasvase.
6. Tolva de alimentación.
7. Parrillas quemadoras.
8. Cámara de combustión.
9. Tolvas de evacuación de las cenizas.
10. Ventilador primario.
11. Ventilador secundario.
12. Caldera de recuperación.
13. Calderón de vapor.
14. Economizador.
15. Aerocondensador.
16. Tolvas de evacuación de las cenizas.

17. Cadenas sinfín de cenizas del horno.
18. Canal de evacuación de escorias.
19. Cintas transportadoras de cenizas y escorias.
20. Electrofiltro.
21. Cadenas sinfín de evacuación de cenizas del electrofiltro.
22. Ventilador de tiro.
23. Chimenea de evacuación de gases.

b) Horno de lecho fluidizado.

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).

- Lecho fluidizado burbujeante: 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.

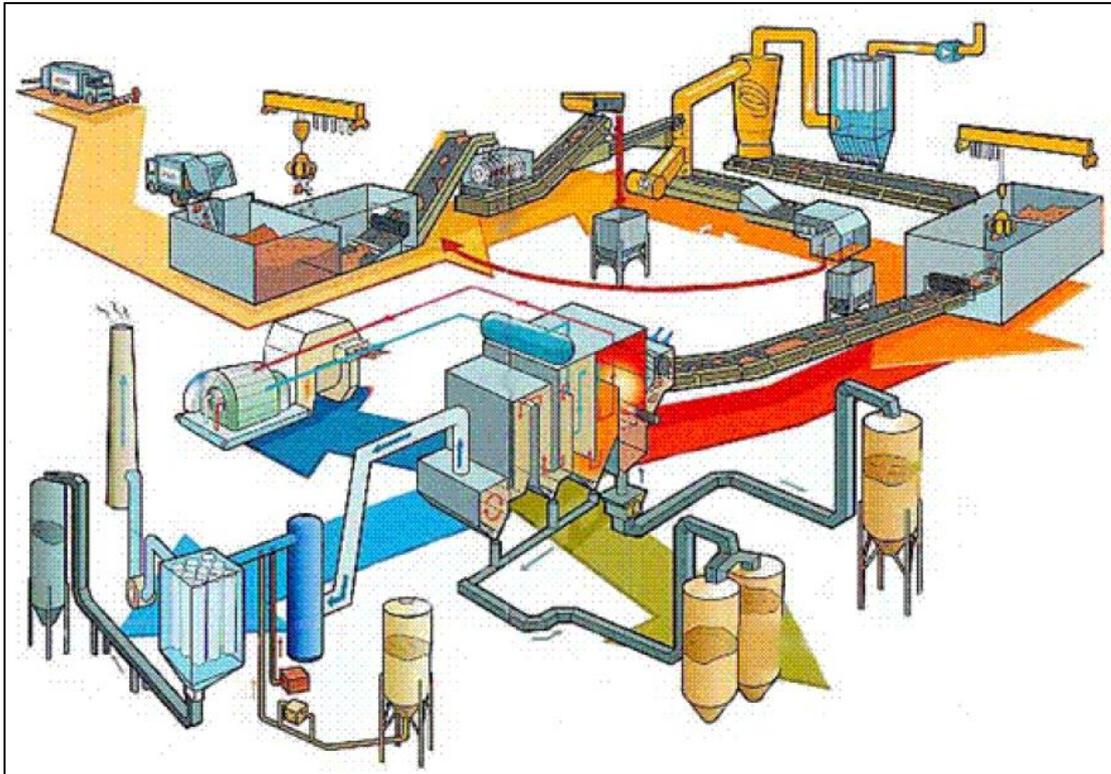
Se debe introducir un tamaño de residuo con la suficiente graduación para asegurar una mejor combustión de los mismos.

- Lecho fluidizado circulante, 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).

Figura N° 8: Esquema de horno de lecho fluidizado.



Tomado de: EUROPEAN COMMISSION. (2006).

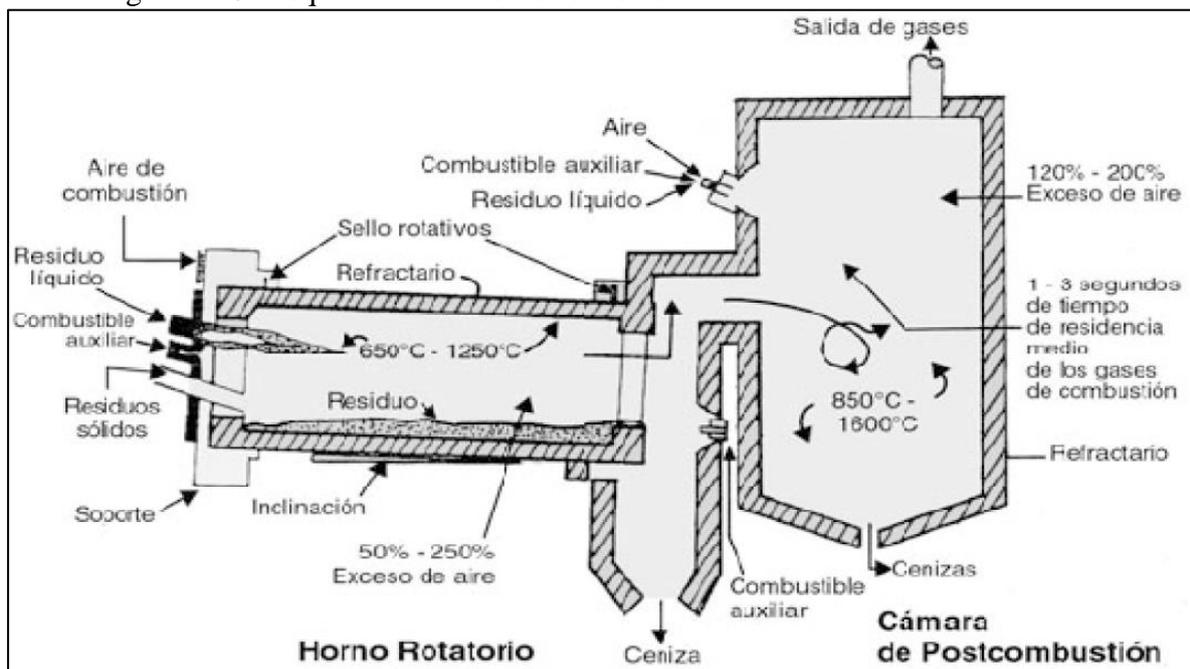
c) Horno rotativo.

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.

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).

Figura N° 9: Esquema de un horno rotatorio.



Tomado de CENTRO DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS (2008).

d) Impactos ambientales generados por la incineración de RSU

- Emisiones producto del proceso de combustión a la atmósfera, agua y suelo.
- Producción de residuos generados por el proceso como cenizas y escoria.
- Ruido y vibración producto del proceso.
- Impactos indirectos generados por el transporte de los residuos hacia la planta como ruido vibraciones, presencia de material particulado gases producto de la combustión generada por los motores de los transportes (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, MEDIO RURAL Y MARINO, España (2011)).

Tabla N° 5: Principales emisiones a la atmósfera producto de la incineración de los residuos sólidos urbanos.

Emisiones	Descripción
Partículas	Diversos tamaños de partícula.
Ácidos y gases	HCl, HF, HBr, HI, SO ₂ , NO _x , NH ₃ entre otros.
Compuesto de carbono	CO, hidrocarburos.
Metales pesados	Hg, Cd, Ti, As, Ni, Pb entre otros.
Olor	Manejo de residuos sin tratar.
Gases 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.
Descargas de efluentes finales de las plantas de tratamiento de aguas residuales	Sales, metales pesados.
Agua de calderas	Sales.

Tomado de MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, MEDIO RURAL Y MARINO. España (2011).

2.3.3.1.2. 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 calorífico. 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 (ONU, 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 calorífico 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.

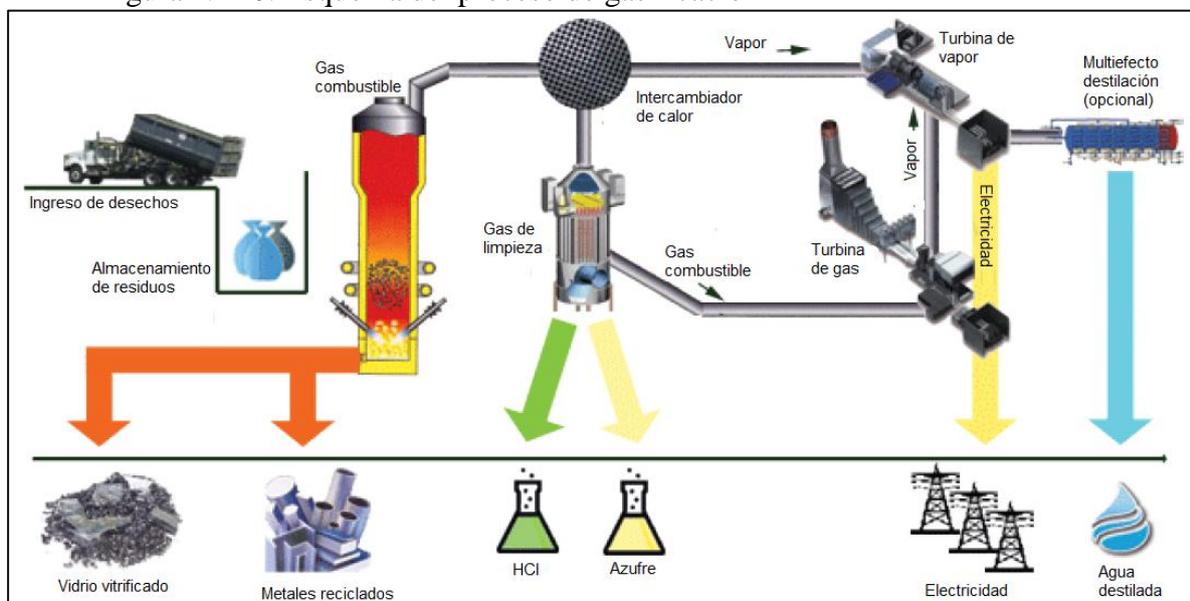
- Reformado de gases: son reacciones específicas del proceso de gasificación en la que interviene el vapor de agua como reactivo (IDEA, 2011).

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.

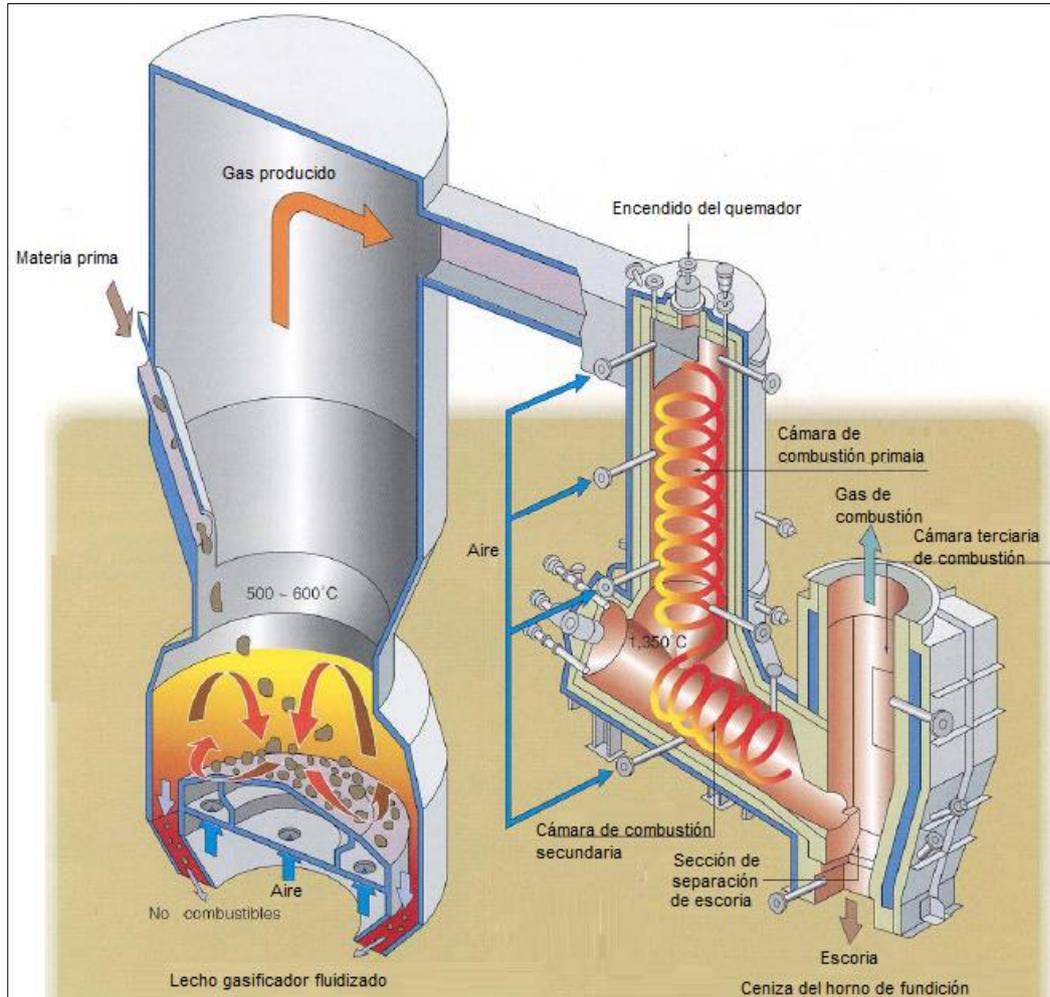
La eficiencia energética en este método de valorización puede alcanzar valores de hasta el treinta por ciento en condiciones ideales, pero debido a que los residuos deben recibir un tratamiento previo para someterlos a gasificación la eficiencia energética alcanza un promedio del 19% (García, et, al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

Figura N° 10: Esquema del proceso de gasificación



Tomado de UNIDECO s.f.

Figura N° 11: Esquema del sistema de gasificación



Tomado de: REINNOVA 2009

2.3.3.1.3. Pirólisis

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 H_2 , CH_4 , C_2H_6 , 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).

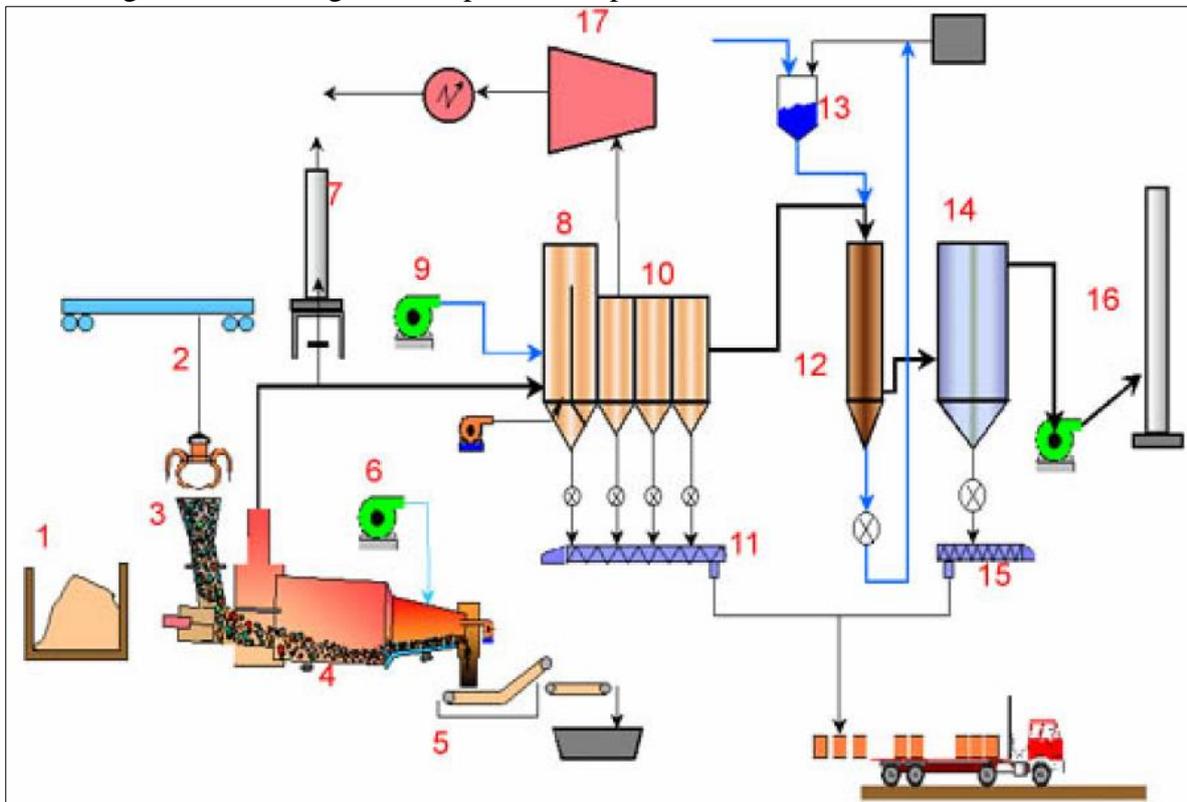
La pirólisis transforma la materia orgánica de los residuos urbanos, a altas temperatura entre $300^{\circ}C$ y $1100^{\circ}C$ (García 2013).

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 poliolefinicos 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.

Figura N° 12: Diagrama del proceso de pirólisis.

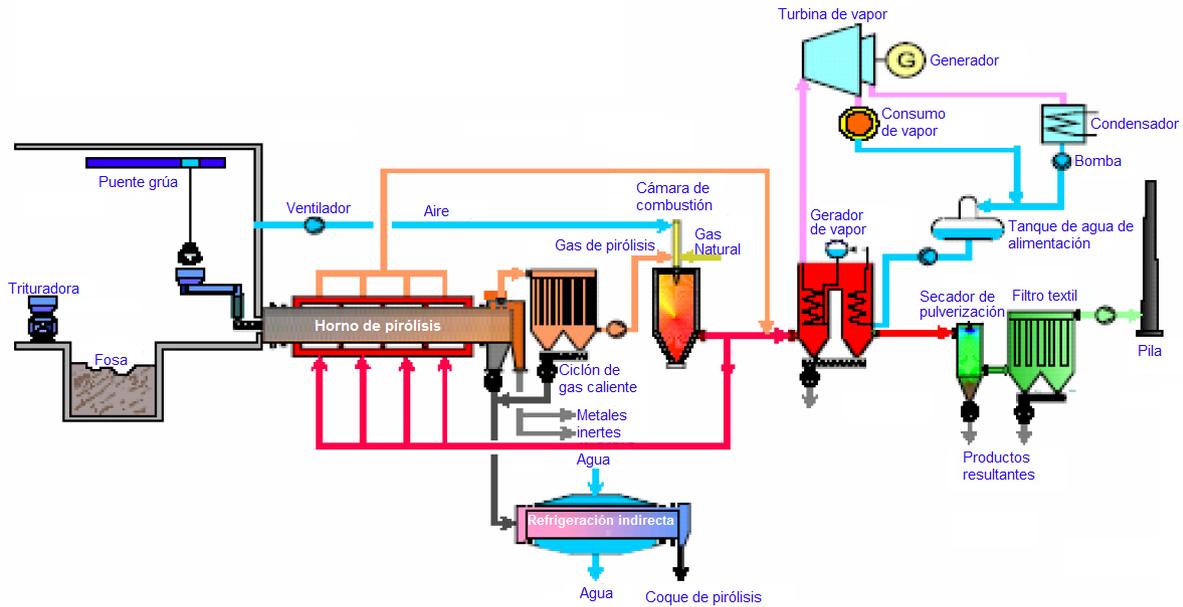


Planta de pirólisis para el tratamiento de RSU. (Pyroflam process BS Engineering) [ODPM04] citado por (Fernández 2007).

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.

Esté método de valorización energética para residuos sólidos urbanos puede alcanzar una eficiencia del 26% y una eficiencia promedio del 24,5%.

Figura N° 13: Diagrama de flujo simplificado de una planta de pirólisis.



Planta de pirólisis tomado de: MSW Pyrolysis Plant. (2004) p. 3

Tabla N° 6: 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 fluidizado	36 – 200
	Horno rotativo	100 – 350
Pirólisis		10 – 100
Gasificación		250 – 500

Tomado de: MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO. España 2011.

Tabla N° 7: Método que se aplica al tipo de residuo a tratar

Método		Residuos urbanos sin tratar	Residuos pretratados	Residuos peligrosos	Residuos clínicos
Incineración	Parrilla móvil	Se aplica	Se aplica	No se aplica normalmente	Se aplica
	Lecho fluidizado	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

Tomado de: MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y

MARINO. España 2011.

Tabla N° 8: Comparación del tratamiento térmico de los residuos sólidos urbanos entre los diferentes métodos.

Tomado de: EUROPEAN COMMISSION. (2006).

Método		Características de los residuos	Rendimiento por línea	Información ambiental		Calidad de las cenizas de fondo	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 o puede tomar desechos sin especial preparación	No se adapta a polvos líquidos o materiales que se pueden fundir a través de la rejilla	Carbón orgánico total 0,5 % a 3 %	4000-7000 Nm ³ / t	alta capacidad reduce el costo específico por tonelada de residuos
	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 ceniza volante más alta	Carbón orgánico total <3 %	Relativamente más baja que el de rejillas	Tratamiento de gases de combustión costo puede ser menor.
	Horno rotativo	Recibe residuos orgánicos limitados Aplicado 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- 10.000 m ³ / t	Mayor costo específico debido a la reducida capacidad
Pirólisis		Pretratamiento de residuos sólidos. Altos flujos de metal Residuos plásticos fragmentados Pirólisis menos utilizado que la incineración	5 a 10 t / h	Ninguna oxidación de los 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 limitado 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

2.3.4. 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).

CAPITULO III

3. MÉTODOLOGÍA

3.1. Nivel de estudio

El presente trabajo se realizó mediante la investigación bibliográfica de tesis, estudios de la Universidad Internacional SEK, revisión de documentos electrónicos y textos sobre la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos, en los cuales se explica sobre el tema específico de valorización energética de residuos sólidos urbanos mediante tratamientos térmicos.

3.2. Modalidad de investigación

El tipo de investigación es netamente documental o bibliográfica se fundamenta en Tesis elaboradas en la Universidad Internacional SEK, textos electrónicos y textos impresos que tratan sobre la valoración energética de los residuos sólidos urbanos. Con este proyecto se intentará definir la mejor alternativa para una mejor gestión de los residuos sólidos urbanos mediante la valorización energética de estos.

3.3. Método

El Método de investigación utilizado es el método deductivo que se fundamenta en el razonamiento como procedimiento metodológico, en este caso se utilizará estudios realizados y demostrados sobre el tema que se investiga (Garcés, 2000).

3.4. Población y muestra

La investigación es bibliográfica, los textos analizados serán sobre la valorización energética de residuos sólidos y la cantidad de residuos generados por día en el Distrito Metropolitano de Quito.

3.5. Materiales y equipos

Los instrumentos de investigación son investigaciones sobre gestión de residuos sólidos urbanos impresos, realizados por la Universidad Internacional SEK entre los años 2012 y 2014, textos de la biblioteca de esta misma institución y documentos electrónicos que son consultados del internet.

3.6. Validez y confiabilidad de los instrumentos

La información en la que se fundamenta la investigación son Tesis que tratan sobre el tema de valorización energética de los residuos sólidos o gestión de los residuos sólidos urbanos, investigaciones que han sido validadas por la Universidad Internacional SEK y textos que tratan sobre este tema.

3.7. Procesamiento de datos

De la información suministrada por las Tesis realizadas en la Universidad Internacional SEK y la investigación bibliográfica consultada sobre el tema se determina la o las alternativas para una mejor gestión de los residuos sólidos urbanos mediante la valoración energética de los mismos.

3.7.1. Cálculo de los residuos sólidos urbanos en el periodo 2015 – 2020

Para realizar este cálculo se utiliza la proyección de la población suministrada por el INEC y se multiplica por la cantidad de residuos generados por persona que es de 0,76 kg/día.

De esta manera se conocerá la cantidad de residuos generados por día de cada año.

Tabla N° 9: Proyección de los residuos sólidos urbanos generados por día periodo 2015 - 2020

AÑO	POBLACIÓN	RSU t/día
2015	2551721	1939,3
2016	2597989	1974,5
2017	2644145	2009,6
2018	2690150	2044,5
2019	2735987	2079,4
2020	2781641	2114,1

Tabla N° 10: Proyección de los residuos sólidos urbanos incinerables periodo 2015 - 2020

Residuos sólidos urbanos	Año 2015 RSU t/día	Año 2016 RSU t/día	Año 2017 RSU t/día	Año 2018 RSU t/día	Año 2019 RSU t/día	Año 2020 RSU t/día
orgánico	1205,9	1227,7	1249,6	1271,3	1293,0	1314,5
residuo de baño	149,1	151,8	154,5	157,2	159,9	162,6
papel	158,1	160,9	163,8	166,6	169,5	172,3
textiles	40,9	41,7	42,4	43,1	43,9	44,6
plástico	254,4	259,1	263,7	268,2	272,8	277,4
madera	10,1	10,3	10,4	10,6	10,8	11,0
caucho	20,0	20,3	20,7	21,1	21,4	21,8
Total	1838,5	1871,8	1905,1	1938,1	1971,3	2004,2

3.7.2. Valorización energética de los residuos sólidos urbanos por incineración

Se realizará la valorización energética de los residuos generados en el periodo 2015 – 2020, para tener una visión a mediano plazo sobre la gestión de los residuos sólidos urbanos aplicando esta metodología, se utilizará los residuos generados en el Distrito Metropolitano de Quito, que sirven para el efecto, eliminando los residuos que no son valorizables como los escombros y los residuos que son reciclables como el vidrio y el metal, los residuos de oficina como computadoras, teléfonos, copiadoras, etc., deben recibir un tratamiento especial ya que sus partes se puede reciclar o deberán ser tratados de una forma especial ya que contienen elementos nocivos para el ambiente, si se los deposita en un relleno sanitario sin recibir un tratamiento previo. A continuación se indica la humedad y el poder calorífico inferior de los residuos que se emplearan en la valorización energética.

Tabla N° 11: Poder calórico de los residuos sólidos urbanos.

Residuos sólidos urbanos	Humedad %	Poder calórico inferior kcal/kg
orgánico	67,6	3051,0
residuo de baño	49,20	16152
papel	9,6	2175,6
textiles	10,84	2128,26
plástico	16,04	4800
madera	50,09	4293,4
caucho	0,53	7480

Compilado: de tesis de la UISEK entre los años 2012 a 2014 (de acuerdo al nivel calórico se recomienda el método de valorización energética a utilizar

CAPITULO III

4. RESULTADOS

4.1. Incineración

Este proceso se da entre los 850 – 1500 °C y generan entre 0,4 y 0,48 MW/h por cada tonelada de residuos incinerados. Los residuos para este tratamiento no deben contener más allá del 60% de agua en su contenido y un diámetro de 0,25 – 0,30 m. Cuando superan el porcentaje del contenido de agua los residuos deben recibir un pretratamiento de secado por corrientes de calor generadas por el equipo de incineración. El rendimiento eléctrico promedio con este proceso se encuentra alrededor del 20% (Romero 2007).

Hornos de parrilla: incineran residuos con un poder calorífico entre 1600 y 4200 kcal/kg, sin añadir combustible auxiliar, reciben residuos heterogéneos sin tratamiento previo, los residuos del Distrito Metropolitano de Quito que van a ser incinerados cumplen con el poder calorífico necesario para que estos hornos puedan operar. Los hornos de parrilla están en la capacidad de incinerar de 120 – 720 t/día (Rango establecido por varios autores).

4.1.1. Producción de energía eléctrica periodo 2015 – 2020

- Producción de energía año 2015

Para el año 2015 se generará 1838,5 toneladas de residuos sólidos urbanos por día que pueden ser aprovechados mediante la valorización energética en hornos de incineración que producirán alrededor de 735,4 - 882,48 MW/día (cálculos en anexos).

El autoconsumo de estas plantas está en alrededor del 15% del total generado, lo que equivale a que la planta de incineración podrá exportar entre 625,09 – 750,11 MW/día que pueden ir al sistema interconectado.

Uno de los principales inconvenientes que presenta este método es la cantidad de gases generados como NO_x, HCl, SO₂, material particulado y metales pesados. Para mitigar este riesgo se implementa a estos hornos equipos de control de la contaminación, los gases de salida son tratados con filtros de carbón activado en donde se genera una sal donde se limpian los gases antes de salir al exterior, están conformados también por filtros que retienen el material particulado, la escoria y ceniza producida en este procedimiento es destinada a los rellenos sanitarios o se la emplea para la fabricación de ladrillos, los metales retenidos en los filtros son reciclados y se los destina a nuevas aplicaciones.

Mediante este proceso el peso de los residuos se reduce entre el 70 – 75% lo que equivale a que la recolección diaria se reduciría de 551 - 459,6 toneladas por día.

La reducción del volumen de los residuos aplicando este procedimiento se calcula entre el 90 y 95%, estos valores por día equivaldría a que los residuos sólidos valorizados energéticamente ocuparía entre 1602,3 - 801,2 m³, de lo que originalmente sería 16023,4 m³.

- Producción de energía año 2016

Para el año 2016 la producción de residuos sólidos urbanos será de 1871,8 t/día, que sometidos a incineración generarán entre 748,72 – 898,46 MW/día, el consumo interno para que la planta pueda operar es de alrededor del 15% que corresponde a 112,31 – 134,77; quedando para la exportación de energía eléctrica de 636,41 – 763,69 MW/día. La reducción en peso de los RSU estaría entre 561,54 - 467,95 t/día que corresponde al 70 – 75%.

Luego de la valorización energética de los residuos sólidos se reducirían entre el 90 y 95% de su volumen lo que equivaldría a $1631,5 - 815,7 \text{ m}^3$, de 16315 m^3 que sería el volumen original.

Producción de energía para el año 2017

Para el año 2017 la generación de residuos sólidos urbanos se encontrará en alrededor de 1905,1 toneladas, lo que generará sometiendo a estos residuos a valoración energética mediante incineración entre $762,04 - 914,45 \text{ MW/día}$; la planta incineradora utiliza un 15% de la energía generada lo que da como resultado que consumiría entre $114,31 - 137,17 \text{ MW/día}$, lo que dejaría para la exportación de energía entre $647,73 - 777,28 \text{ MW/día}$ que se uniría al sistema nacional interconectado

Por 1905,1 toneladas de residuos sólidos urbanos generados. El peso de los residuos sólidos urbanos se reduciría entre $571,5 - 476,3 \text{ t/día}$, que corresponde al 70 - 75% de reducción en peso cuando se emplea esta técnica. Luego de que los RSU se someten a la incineración su volumen se reduciría de $16605,1075$ que corresponde al 100% a $1660,51 - 830,4 \text{ m}^3$, que corresponde a una reducción de entre el 90 y 95%.

Producción de energía para el año 2018

Según datos calculados se estima que en el año 2018, se produciría $1938,1 \text{ t/día}$ de residuos sólidos urbanos, que generarán mediante la valorización energética entre $775,24 - 930,29 \text{ MW/día}$ de energía eléctrica, para que la planta se mantenga operando esta utilizará el 15% del total de la energía generada lo que equivale a $116,29 - 139,54 \text{ MW/día}$, consecuentemente la energía exportable de la planta se encontraría entre $658,95 - 790,75 \text{ MW/día}$.

El peso de los residuos sólidos urbanos se reduciría entre $581,4 - 484,5$; que corresponde al orden estimado luego de aplicar este tratamiento de una reducción del peso de entre el 70 - 75%.

El volumen de los residuos luego de la incineración su disminución estará entre 1689,1 - 844,6 m³, que corresponden al rango de disminución de entre el 90 y 95% de 16891,2 m³.

Producción de energía año 2019

Para datos calculados para el año 2019, se estima que la producción energética después de incinerar los residuos sólidos urbanos se encontrará entre 788,52 – 946,22 MW/día de energía eléctrica. La energía exportable estaría en el rango de 670,24 – 804,29 MW/día, el porcentaje restante se destinaría al autoconsumo de la planta 118,28 – 141,93 MW/día. El peso de los residuos sólidos incinerados descenderá en el rango de 70 – 75% de 1971,3 lo que equivale a 591,39 - 492,8 t/día.

El volumen de residuos luego de este tratamiento disminuirá un 90 – 95% de 17181,1 m³, lo que equivale a 1718,1 - 859,1 m³.

Producción de energía año 2020

Para el año 2020 la producción de energía eléctrica luego de incinerar los residuos sólidos urbanos estaría en el orden de 801,68 – 962,02 MW/día; el consumo energético para la operación de la planta de incineración es de alrededor del 15% lo que equivale a 120,25 – 144,3 MW/día, lo que queda para exportar entre 681,43 – 817,72 MW/día.

La disminución de los residuos sólidos urbanos luego de someterlos a la incineración estaría entre 601,26 - 501,05 t/día, que corresponderían al 70 – 75% de 2004,2 t/día.

El volumen de residuos sólidos urbanos luego de la incineración se reduciría de 17468,4 m³, a 1746,8 - 873,4 m³, que corresponde al 90 – 95% del volumen total.

4.2. Gasificación

El proceso de gasificación alcanza rendimientos eléctricos de hasta un 30% y un rendimiento promedio del 19% debido a que la energía generada se destina al pretratamiento de los residuos recibidos para que los hornos de gasificación pueda operar.

Los residuos sólidos urbanos para someterlos a una gasificación óptima deben encontrarse entre 10 – 15% de humedad caso contrario la eficiencia energética se ve disminuida ya que se la debe emplear para secar los residuos que no se encuentran en niveles de humedad aceptables. Además los residuos deben: estar clasificados, no deben ser residuos voluminosos, estos deben ser triturados (8 a 30 cm de diámetro) y homogenizados; antes de ingresar al proceso de gasificación (IDEA, 2007).

Tabla N° 12: producción de energía eléctrica exportada por tonelada de RSU gasificado en el periodo 2015 – 2020 en el DMQ.

Año	Peso total RSU t/día	Producción de energía eléctrica MW/día
2015	1838,5	1117,808
2016	1871,8	1138,0544
2017	1905,1	1158,3
2018	1938,1	1178,36
2019	1971,3	1198,55
2020	2004,2	1218,55

4.3. Pirólisis

La pirólisis es un método más eficiente para tratar los residuos sólidos urbanos ya que para lograr una mayor producción de energía los residuos deben ser homogéneos.

Los residuos para tratarlos con este sistema deben ser preseleccionados para tener una mayor eficiencia, no se puede tratar residuos voluminosos y algunos plásticos como PVC, los residuos para este tratamiento deben ser estar relativamente secos entre 10 – 15% de humedad, los residuos deben ser homogéneos en tamaño y clase.

Tabla N° 13: producción de energía eléctrica exportada por tonelada de RSU tratado mediante pirólisis en el periodo 2015 – 2020 en el DMQ.

Año	Peso total RSU t/día	Producción de energía eléctrica MW/día
2015	1838,5	1470,8
2016	1871,8	1497,44
2017	1905,1	1524,08
2018	1938,1	1550,47
2019	1971,3	1577,04
2020	2004,2	1603,36

4.4. Análisis de resultados

Para el análisis de resultados se realiza una comparación de la energía generada para exportación en cada sistema empleado para la valorización energética.

Tabla N° 14: comparación producción de energía generada para exportación de cada sistema

Año	Peso total RSU t/día	Producción de energía eléctrica MW/día		
		Incineración	Gasificación	Pirólisis
2015	1838,5	750,11	1117,81	1470,8
2016	1871,8	763,69	1138,05	1497,44
2017	1905,1	777,28	1158,30	1524,08
2018	1938,1	790,75	1178,36	1550,47
2019	1971,3	804,29	1198,55	1577,04
2020	2004,2	817,72	1218,55	1603,36

La valorización energética de los residuos sólidos tratados mediante la pirólisis es más eficiente con un 49% sobre el tratamiento mediante la incineración y un 24%, más que la gasificación. La desventaja que presenta la pirólisis y la gasificación sobre la incineración es que mientras la incineración puede recibir cualquier tipo de residuo que sea aprovechable energéticamente, la gasificación y pirólisis, deben alimentar su sistema con residuos seleccionados y homogenizados, debido a estas limitantes los beneficios económicos que se obtuvieran con la gasificación y pirólisis se reducen ostensiblemente hasta equipararse con lo que genera el método de la incineración. La mayor producción de energía eléctrica generada por la gasificación y por la pirólisis que por la incineración se equipara con esta última ya que para los dos primeros sistemas los residuos deben ser secados, clasificados, triturados y homogenizados para que puedan ser valorizados energéticamente, en estas operaciones se utiliza el excedente de energía que sobrepasa al sistema de incineración de residuos, dando como resultado al final una producción similar en entre los tres sistemas.

- Comparación de generación eléctrica entre la valorización energética de residuos y la generación de TERMOPICHINCHA.

La central termoeléctrica de Guangopolo dispone de una potencia total instalada de 33 MW por hora. Las unidades de generación de la Central utilizan para su operación, residuo de la Refinería de Shushufindi (Tomado de la página electrónica de CELEC EP <https://www.celec.gob.ec/termopichincha/index.php/generacion/guangopolo>, párrafo 3, línea 2 y 3), al día esta central genera 792 MW/día, en comparación con la generación por incineración en el año 2015 la producción sería de 750 MW/día, siendo superada por 42 MW, que corresponden al 5,3% más que la producción por incineración.

Para el año 2016, la producción de energía sería de 763,69 MW/día; comparando este valor con 792 MW/día, la producción de la central térmica sería mayor con un 3,6% a lo que produce la incineración.

En el año 2017, la producción de energía sería de 777,28 MW/día; comparando este valor con 792 MW/día, la producción de la central térmica sería mayor con un 1,9% a lo que produciría la incineración de los residuos.

Para el año 2018, la producción de energía sería de 790,75 MW/día; comparando este valor con 792 MW/día, la producción de la central térmica sería mayor con un 0,16% a lo que produce la incineración de residuos.

En el año 2019, la producción de energía sería de 804,29 MW/día; comparando este valor con 792 MW/día, la producción de la central térmica sería menor con un 1,53% a lo que produce la incineración de residuos, de esta manera la producción de energía eléctrica generada reemplazaría a la central térmica de Guangopolo.

El año 2020, la producción de energía sería de 817,72 MW/día; comparando este valor con 792 MW/día, la producción de la planta de incineración de residuos sería 3,15 % mayor a la que produce la central termoeléctrica.

4.5. Ventajas y desventajas que presentan los sistemas de valorización energética de residuos sólidos urbanos

Tabla N° 15: Ventajas y desventajas que presentan los sistemas de valorización energética de residuos sólidos urbanos

	Incineración	Gasificación	Pirólisis
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Tratamiento de gran variedad de residuos, sin necesidad de pretratamiento - Reducción en el volumen y peso de los desechos tratados - Generación de energía eléctrica - Tratamiento de residuos tóxicos - Productos finales tienen valor económico 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja producción de residuos - Producción de gas de síntesis - Generación de energía eléctrica - Oxidación reducida de metales permitiendo su recuperación - Reducción en el volumen y peso de los desechos tratados - Escaso impacto ambiental - Tratamiento de residuos tóxicos - Productos finales tienen valor económico 	<ul style="list-style-type: none"> - Se obtiene metanol - Se obtiene electricidad mediante motores que utilizan syngas - Se reduce la emisión de gases de combustión - Escaso impacto ambiental - Reducción en el volumen y peso de los desechos tratados - Tratamiento de residuos tóxicos - Productos finales tienen valor económico
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado costo de tratamiento de gases producto de la incineración de los residuos 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso limitado de residuos - Se requiere un control estricto del proceso - El método de tratamiento necesita mayor desarrollo - Se requiere máquinas que puedan operar con gas de síntesis - Formación de alquitranes en el gas producido - Limpieza del gas producido 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso limitado de residuos - Se requiere un control estricto del proceso - El método de tratamiento necesita mayor desarrollo - Se requiere máquinas que puedan operar con gas de síntesis

4.5.1. Análisis DAFO para la valorización energética de los residuos sólidos urbanos por incineración.

- Debilidades:

Método tecnológico de valorización de residuos nuevo en la ciudad.

Tecnología difícil para su financiación en los actuales momentos debido a sus elevados costos.

Elevado costo de tratamiento de gases de emisión.

Se deben cumplir parámetros ambientales de emisiones.

Se requiere personal capacitado y con experiencia para operar el equipo.

- Amenazas:

Puesta a punto de los equipos para la recepción de residuos de acuerdo a las condiciones que presenta estos.

Financiamiento para la implementación, montaje del sistema y operación del sistema.

Reducción de los ingresos económicos para las personas que reciclan desechos.

Percepción negativa del sistema por parte de las personas.

- Fortalezas:

Prolongación de vida útil de rellenos sanitarios.

Operación de planta en espacio reducido, menor al que ocupa un relleno sanitario.

Recepción de residuos valorizables energéticamente heterogéneos.

Generación de energía eléctrica.

Reducción del consumo de combustibles fósiles, que generan gases efecto invernadero.

Valorización de productos generados luego del tratamiento térmico.

Forma más efectiva de tratar los residuos.

- Oportunidades:

Optimización del espacio

Reducción de gases efecto invernadero. Disminución de plantas de generación termoeléctrica.

4.5.2. Análisis DAFO para la valorización energética de los residuos sólidos urbanos por gasificación.

- Debilidades:

Método tecnológico de valorización de residuos nuevo en la ciudad.

Tecnología difícil para su financiación en los actuales momentos debido a sus elevados costos.

Se requiere personal capacitado y con experiencia para operar el equipo.

Menor cantidad de procesamiento de desecho que la incineración.

Recepción de desechos homogéneos.

- Amenazas:
 - Puesta a punto de los equipos para la recepción de residuos de acuerdo a las condiciones que presenta estos.
 - Financiamiento para la implementación, montaje del sistema y operación del sistema.
 - Percepción negativa del sistema por parte de las personas.
- Fortalezas:
 - Prolongación de vida útil de rellenos sanitarios.
 - Operación de planta en espacio reducido, menor al que ocupa un relleno sanitario.
 - Tiempo de montaje de la planta menor al de incineración.
 - Generación de energía eléctrica.
 - Reducción del consumo de combustibles fósiles, que generan gases efecto invernadero.
 - Valorización de productos generados luego del tratamiento térmico (coke, syngas).
 - Baja o ninguna emisión de gases
 - Forma más efectiva de tratar los residuos.
- Oportunidades:
 - Optimización del espacio.
 - Reducción de gases efecto invernadero. Disminución de plantas de generación termoeléctrica.
 - Creación de fuentes de empleo que clasifican los residuos que entrarán al proceso de gasificación.

4.5.3. Análisis DAFO para la valorización energética de los residuos sólidos urbanos por pirólisis.

- Debilidades:
 - Método tecnológico de valorización de residuos nuevo en la ciudad.
 - Tecnología difícil para su financiación en los actuales momentos debido a sus elevados costos.
 - Se requiere personal capacitado y con experiencia para operar el equipo.
 - Menor cantidad de desechos procesables que el método de incineración.
 - Recepción de desechos homogéneos.
- Amenazas:
 - Puesta a punto de los equipos para la recepción de residuos de acuerdo a las condiciones que presenta estos.
 - Financiamiento para la implementación, montaje del sistema y operación del sistema.

Percepción negativa del sistema por parte de las personas.

- Fortalezas:

Prolongación de vida útil de rellenos sanitarios.

Operación de planta en espacio reducido, menor al que ocupa un relleno sanitario.

Tiempo de montaje de la planta menor al de incineración.

Generación de energía eléctrica.

Reducción del consumo de combustibles fósiles, que generan gases efecto invernadero.

Valorización de productos generados luego del tratamiento térmico (coque, hidrocarburos de bajo poder calórico).

Forma más efectiva de tratar los residuos.

Baja o ninguna emisión de gases

- Oportunidades:

Optimización del espacio.

Reducción de gases efecto invernadero. Disminución de plantas de generación termoeléctrica.

Creación de fuentes de empleo que clasifican los residuos que entrarán al proceso de gasificación.

En síntesis el análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades se sintetizan en la siguiente matriz.

4Análisis DAFO para la valorización energética de los residuos sólidos urbanos por incineración.

MATRIZ FODA	FORTALEZAS	DEBILIDADES
OPORTUNIDADES <ul style="list-style-type: none"> • Optimización del espacio • Reducción de gases efecto invernadero • Reducción de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas • Mercado para la energía eléctrica 	Estrategias (FO) <ul style="list-style-type: none"> - Realizar investigaciones para determinar nuevos rellenos sanitarios con mayor disponibilidad de tiempo - Aprovechar la energía eléctrica para distribuir al sistema nacional interconectado 	Estrategias (DO) <ul style="list-style-type: none"> - Capacitar al personal que opera la planta y recepta los residuos. - Aprovechar medios publicitarios para atraer la inversión
AMENAZAS <ul style="list-style-type: none"> • Calibración de equipos para recepción de residuos. • Difícil financiación • Reducción de ingresos económicos para recicladores • Percepción negativa del método por las personas 	Estrategias (FA) <ul style="list-style-type: none"> - Mejorar la clasificación de los RSU. - Informar sobre los beneficios en reducción de residuos sólidos y generación de energía eléctrica. 	Estrategias (DA) <ul style="list-style-type: none"> - Realizar campañas puerta a puerta para informar de los beneficios del método de valorización energética de los residuos.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El aprovechamiento energético de los residuos permite una mejor gestión técnica de estos constituyendo una nueva fuente de energía, que permite reducir la dependencia de los combustibles fósiles.
- La incineración de los RSU, produce energía eléctrica que es aprovechada por la planta incineradora para su operación y sirve para exportar al sistema eléctrico interconectado.

Año	Energía exportable MW/día
2015	625,09 – 750,11
2016	636,41 – 763,69
2017	647,73 – 777,28
2018	658,95 – 790,75
2019	670,24 – 804,29
2020	681,43 – 817,72

Energía central Guangopolo MW/día
792

A partir del año 2018 la energía generada por la incineración de residuos equipararía en producción a la generación eléctrica de la central termoeléctrica de Guangopolo y de este año en adelante la generación de energía eléctrica superaría en producción a la central termoeléctrica.

- Los tratamientos térmicos de los residuos sólidos reducen el volumen de estos entre un 90 – 95%; de esta manera se contribuye a alargar la vida útil de los rellenos sanitarios.

Año	Volumen inicial (m ³)	Volumen final (m ³)
2015	16023,4	1602,34 – 801,2
2016	16315,0	1631,50 – 815,7
2017	16605,1	1660,51 – 830,4
2018	16891,2	1689,12 – 844,6
2019	17181,1	1718,11 – 859,1
2020	17468,4	1746,84 – 873,4

Reducción del volumen de los residuos sólidos urbanos desde el 2015 hasta el 2020.

El área reducida si consideramos la altura de los residuos de un metro se encontraría en alrededor de 10 a 20 veces el área inicial que ocuparían los residuos si consideramos igualmente la altura de estos de un metro.

- La valorización energética de los residuos sólidos urbanos por el método de incineración trata una mayor cantidad de residuos que los métodos de gasificación y pirólisis.
- Los métodos de gasificación y pirólisis son más eficientes que el método de incineración de residuos sólidos ya que generan una mayor cantidad de energía eléctrica, su limitante es la humedad y la homogeneidad de los residuos antes de ser sometidos al tratamiento térmico.
- El valor del tratamiento de la emisión de gases producto de la valorización térmica de residuos por el método de incineración es costoso está por alrededor del 10 a 15% del costo total del proyecto.
- La valorización energética de residuos sólidos urbanos podrá reemplazar potencialmente a la central termoeléctrica de Guangopolo que genera 792 MW/día.

5.2. Recomendaciones

- Realizar los estudios de factibilidad para la instalación de una planta de valorización energética de los residuos sólidos urbanos.
- Gestionar por parte de las autoridades competentes el financiamiento para la construcción de plantas de valorización energética de residuos sólidos urbanos.

- Crear programas o campañas de clasificación y reciclaje de residuos, para implementar en el futuro plantas de valorización energética de residuos sólidos urbanos de gasificación y pirólisis que necesitan residuos homogéneos para poder funcionar eficientemente.
- El método de valorización energética de los residuos sólidos urbanos que debería ser adoptado por el Distrito Metropolitano de Quito, es la incineración ya que este método a diferencia de la gasificación y pirólisis, acepta residuos con composición heterogénea, humedad del 60% y de poder calorífico inferior bajo.
- Desarrollar la legislación adecuada que permita el control de estas técnicas de valorización energética de residuos sólidos urbanos y la emisión de gases.

CAPITULO VI

6. BIBLIOGRAFIA

ACUMAR. (2009). PLAN MAESTRO DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS - ACUMAR. Tucumán. [en línea]. Disponible en:

<http://www.acumar.gov.ar/content/documents/0/1610.pdf> [2015 - 03 - 09].

ALONSO, C., MARTINEZ, E. DE LA MORENA, J. (2003). Manual para la Gestión de los Residuos sólidos Urbanos. España: Editorial Grefol, S. L.

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. (2006).

PLANTEAMIENTO ESTRATÉGICO SOBRE LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. UNIVERSIDAD DE ANTIOQUÍA. [en línea]. Disponible en:

<http://www.corantioquia.gov.co/docs/pgirs/VIIICOMPONENTESESTRATEGICOSDELPLAN/3.%20INCINERACION/AMVA325%20PEI%20Planteminto%20Estrategico%20Incineracion.pdf> [2015 - 03 - 08].

ARTEAGA, J. (2014). EVALUACIÓN DE DOS TÉCNICAS DE PRE-

TRATAMIENTO PARA LA DEGRADACIÓN DE DESECHOS

LIGNOCELULÓSICOS PROVENIENTES DEL DMQ. Tesis de Ingeniería en

Biotecnología, UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, Quito

AYALA. I. (2013). CUANTIFICACIÓN DEL PODER CALÓRICO SUPERIOR E

INFERIOR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DEL DISTRITO

METROPOLITANO DE QUITO Tesis de Ingeniería Ambiental. UNIVERSIDAD

INTERNACIONAL SEK, Quito.

BARRIGA, A. (2014). REDISEÑO DE UN BIODIGESTOR TIPO BATCH ALIMENTADO CON RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS URBANOS PRODUCIDOS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL AÑO 2014. Tesis de Ingeniería Ambiental. UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, Quito.

BETSERPI. (2010). Tablas. Disponible en:<http://betserpi-seguridadcontraincendio2.blogspot.com/2010/06/materiales-solidos-poder-calorifico-en.html>. [2015 - 05 -16].

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.

CASTILLO, M. (2012). “CONSULTORÍA PARA LA REALIZACIÓN DE UN ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DOMÉSTICOS Y ASIMILABLES A DOMÉSTICOS PARA EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO”.

http://www.emaseo.gob.ec/documentos/pdf/Caracterizacion_residuos.pdf [2015 - 04 - 13].

CEDANO DE LEON, D. (2012). VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS COMO COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS EN PLANTAS CEMENTERAS. Tesis de Máster. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27246/VALORIZACION%20ENERGETICA%20DE%20RESIDUOS%20COMO%20COMBUSTIBLES%20ALTERNATIVOS%20EN%20PLANTAS%20CEMENTERAS.pdf?sequence=1> [2015 - 03 - 02].

CENTRO DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS. (2008). TRATAMIENTO TÉRMICO DE RESIDUOS. España. Disponible en:

http://www.cma.gva.es/comunes_asp/documentos/agenda/cas/56887-

CONFERENCIA%20Alberto%20Lle%C3%B3n.pdf. [2015 - 04 - 23].

COLOMER, F., GALLARDO, A. (2007). TRATAMIENTO Y GESTIÓN DE LOS RESIDUOS Sólidos. México: Editorial LIMUSA.

CORANTIOQUÍA. Requerimientos Técnicos y Normativos para Hornos Incineradores. Colombia. Disponible en:

<http://nuevoportal.corantioquia.gov.co/Tematicas/Residuos%20Peligrosos/Protocolo%20requerimientos%20t%C3%A9cnicos%20y%20normativos%20para%20hornos%20incineradores.pdf>. [2015 - 04 - 25].

CRUZ, A. (2014). DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS DE LAS CENIZAS OBTENIDAS EN EL PROCESO DE INCINERACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DEL DMQ, VÍA RESIDUO Y VÍA LIXIVIADO. Tesis de Ingeniería Ambiental. UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, Quito.

DUEÑAS, D. (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.

EFE. (2015). Científicos costarricenses convierten desechos plásticos en combustible. Ecuador. Disponible en: <http://www.eluniverso.com/vida-estilo/2015/04/18/nota/4781731/cientificos-costarricenses-convierten-desechos-plasticos>. [2015 - 04 - 19].

ESPINOSA, A. (2013). VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE CARBONO Y METANO COMO GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE

QUITO. Tesis de Ingeniería Ambiental. UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, Quito.

EUROPEAN COMMISSION. (2006). Waste Incineration. Disponible en: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/wi_bref_0806.pdf. [2015 - 05 -17].

FÁBREGAS, X. (1999). ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE SISTEMAS BASADOS EN EL CONOCIMIENTO A LA OPERACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS POR VALORIZACIÓN ENERGÉTICA. Girona: Universitat de Girona. (en línea). Disponible en: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/7776/txIf.pdf;jsessionid=8277F1F104A89C8C75BF9356B87EA1DC.tdx1?sequence=1> [2015 - 03 - 15].

FENERCOM. (2010). Guía de valorización energética. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. [en línea]. Disponible en: 35. <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-de-valorizacion-energetica-de-residuos-fenercom-2010.pdf> [2015 - 03 - 14].

FERNÁNDEZ, A. (2007). PLANTA DE INCINERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS CON TECNOLOGÍA DE PARRILLA Y RECUPERACIÓN ENERGÉTICA. Tesis para Ingeniero Industrial. UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS. [en línea]. Disponible en:

<http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/46e81ca3a8e0a.pdf> [2015 - 02 - 24].

FERRANDO, M., GRANERO, J. (2011). GESTIÓN Y MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS. España: Editorial FUNDACIÓN CONFEMETAL

GAIKER. (2007). RECICLADO DE MATERIALES: PERSPECTIVAS, TECNOLOGÍAS Y OPORTUNIDADES. Departamento de Innovación y Promoción Económica. [en línea]. Disponible en:

http://www.concretonline.com/pdf/09rcd/art_tec/Informe_Reciclaje.pdf [2015 - 03 - 13].

GARCÉS, H. (2000). INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA. [en línea]. Quito: Ediciones Abya - Yala. Disponible en: 38.

<https://repository.unm.edu/bitstream/handle/1928/11782/Investigaci%C3%B3n%20cient%C3%ADfica.pdf?sequence=1> [2015 - 01 - 04].

GARCÍA, R., MENOZA, H., PIERNAVIEJA, G., SUÁREZ, S. (2013).

DESARROLLO DEL PLAN ESTRATÉGICO DEL SECTOR DE LA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS. [en línea]. Gobierno de Canarias.

Disponible en:

http://www.gobiernodecanarias.org/industria/temas/oic/doc/PLAN_ESTRATEGICO_VALORIZACION_RESIDUOS.pdf [2015 - 03 -09].

GONZÁLEZ, J. (2008). Módulo I: Contaminación Ambiental. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (R.S.U.). España. Disponible en:

http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45492/componente45490.pdf. [2015 - 05 - 12].

GONZÁLEZ, L. (2010). RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS ARGENTINA

TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL SITUACIÓN ACTUAL Y

ALTERNATIVAS FUTURAS. Área del Pensamiento Estratégico. [en línea].

Disponible en:

<http://www.igc.org.ar/megaciudad/N3/Residuos%20Solidos%20Urbanos%20CAMARCO.pdf> [2015 - 03 - 01].

GREENPEACE. (2011). Nuevas tecnologías para el tratamiento de residuos urbanos: viejos riesgos y ninguna solución. Argentina. [en línea]. Disponible en:

<http://noalaincineracion.org/wp-content/uploads/riesgos-tecnologias-residuos-urbanos.pdf>. [2015 - 05 -18].

IDEA. (2001). “Biomasa: Gasificación”. España. Disponible en:
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_gasificacion_07_d2adcf3b.pdf. [2015 - 04 25].

INEC. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN ECUATORIANA, POR AÑOS CALENDARIO, SEGÚN CANTONES 2010-2020. [en línea]. Ecuador. Disponible en:
http://www.inec.gob.ec/estadisticas/index.php?option=com_content&view=article&id=329&Itemid=328&lang=es. [2015 - 04 - 12]

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. (2010). Valorización Energética de RSU (Residuos Sólidos Urbanos) Estudio de Prefactibilidad Situación Nacional Internacional Propuesta para el Desarrollo Local. [en línea]. Disponible en:
<http://www.inti.gob.ar/e-renova/erBI/pdf/AnalisisRSUenergia.pdf> [2015 - 01 - 27].

JARAMILLO, F. (2014). DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE FUNDAS PLÁSTICAS COMERCIALES EN LAS ESTACIONES DE TRANSFERENCIA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL AÑO 2013-2014. Tesis de Ingeniería Ambiental. UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, Quito.

JARAMILLO, P. (2011). “CARACTERIZACIÓN Y PLAN DE MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DEL CANTÓN GUANO”. ECUADOR. Disponible en:
<https://www.google.com.ec/#q=densidad+de+los+residuos+solidos+municipales>. [2015 - 05 - 12].

LARREA, K. (2013). ELABORACIÓN DE ETANOL A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO UTILIZANDO PROCESO DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA. Tesis de Ingeniería Ambiental. UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, Quito.

LOPEZ, S. (2013). PRODUCCIÓN DE METANO EN UN BIODIGESTOR DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS ORGÁNICOS Y CARACTERIZACIÓN BIOQUÍMICA DE LOS MICROORGANISMOS INVOLUCRADOS EN EL PROCESO. Tesis de Ingeniería Ambiental. UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, Quito.

MAZZILLI, A. (2014). VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD Y PORCENTAJE DE CENIZAS CONTENIDO EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO 2013. Tesis de Ingeniería Ambiental. UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, Quito

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO. (2011). Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos. España. Disponible en: http://www.prtr-es.es/Data/images/MTD_Incineracion_residuos_ES.pdf. [2015 - 04 - 25]

MOLTÓ, J. (2007). Descomposición térmica de residuos textiles: estudio cinético y formación de contaminantes. Tesis Doctorales. Universidad de Alicante. [en línea]. Disponible en:

http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/4092/1/tesis_doctoral_julia_molto.pdf [2015 - 03 - 07].

MONTES, M. (2008). ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA CONJUNTA DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y LODOS DE DEPURADORA PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGAS. Tesis Doctoral. [en línea]. E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos.

Disponible en:

http://oa.upm.es/1049/1/MARIA_ESTELA_MONTES_CARMONA.pdf [2015 - 03 - 12].

OLADE. (1996). APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. Quito, Ecuador: EUROPEAN COMMISSION.

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.

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. [en línea]. Disponible en: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/2630/1/pala_rh.pdf. [2015 - 02 - 27].

PROMOVE CONSULTORIA E FORMACIÓN SLNE. (2012). Cómo elaborar el análisis DAFO. [en línea]. Disponible en: http://www.ferrol.es:8080/activateenelcentro/fotos/biblioteca/CPX_ComoelaborarAnalisisDAFO_cas.pdf. [2015 - 05 - 27].

RECÍCLAME. (2015). Incineración. España. Disponible en: <http://www.reciclame.info/gestion-de-residuos-2/incineracion/>. [2015 - 04 - 24].

REINNOVA. (2009). LA TECNOLOGÍA DE LA GASIFICACIÓN APLICADA A LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. Disponible en: http://www.cresidusvoc.cat/recursos/crvo/recursos/s020203___p_a_maillo.pdf. [2015 - 04 - 25].

RESA. (2011). SITUACIÓN Y POTENCIAL DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DIRECTA DE RESIDUOS. Disponible en: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e15_residuos_c3ead071.pdf [2015 - 03 - 5].

RIBADENEIRA, J. (2014). Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos del Distrito Metropolitano de Quito. Año 2013-2014. Tesis de Ingeniería Ambiental. UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, Quito

TEC. (2012). Determinación del potencial y los requerimientos para aplicar la tecnología de gasificación por plasma en el tratamiento de desechos y la producción de energía eléctrica en el país. Costa Rica. Disponible en:
http://bibliodigital.itcr.ac.cr/bitstream/handle/2238/3157/determinacion_potencial_requerimientos_aplicar_tecnologia.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [2015 - 04 - 19].

UNIDECO. (2015). TECNOLOGIA DE GASIFICACION DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS. Ecuador. Disponible en:
<http://www.unideco.com/AMBIENTAL/Residups%20solidos%20urbanos%20RSU/Gasificacion/GasificacionBinder1.pdf>. [2015 - 04 - 25].

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. (2007). GUÍA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. [en línea].
http://www.unido.org/fileadmin/import/72852_Gua_Gestin_Integral_de_RSU.pdf
[2015 - 02 - 03].

USAID. (2002). MANUAL PARA GESTIÓN INTEGRAL DE REIDUOS SÓLIDOS. [en línea]. Honduras. Disponible en:
http://www.mirahonduras.org/cafta/lib/manual_gestion_int_residuos_solidos.pdf
[2015 - 03 - 11].

Westinghouse. (2013). Tecnología de gasificación por plasma de Westinghouse. Disponible en: http://www.westinghouse-plasma.com/wp-content/uploads/2013/09/WPC-SoQ-August-2013-NDA-Not-Required-Final_Spanish.pdf. [2015 - 05 - 16].

ZALDUMBIDE, L. (2012). Caracterización física de Residuos Sólidos Urbanos, Caracterización Química de Lixiviados y Propuesta de Tratamiento para Lixiviados del Relleno Sanitario del Cantón Mejía. Tesis de Ingeniería Ambiental. UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, Quito.

CAPÍTULO VII

7. ANEXOS

Cálculos efectuados para realizar la Tabla N° 9: residuos sólidos urbanos generados por día durante el periodo 2015 – 2020. Se multiplica la población por el promedio de residuos generados y se divide para 1000 para tener el valor en toneladas. Ejemplo:

Año 2015

Población: 2551721

Residuos generados: 0,76 kg/día

$RSU \text{ t/día} = (2551721 * 0,76)/1000 = 1939,3$

Cálculos efectuados para realizar la Tabla N° 10: Residuos sólidos urbanos incinerables periodo 2015 – 2020. Se multiplica los valores de la Tabla N° 1: Composición de los residuos sólidos urbanos del Distrito Metropolitano de Quito, por los valores de la tabla N°9 y se discrimina los valores de los residuos que pueden ser aprovechados energéticamente.

Ejemplo:

Residuos sólidos urbanos (RSU)	Porcentaje (%)		RSU t/día	RSU t/día
ORGÁNICO	62,18			1205,9
RESIDUO DE BAÑO	7,69			149,1
PAPEL	8,15			158,1
TEXTILES	2,11			40,9
VIDRIO	3,27	*		63,4
PLÁSTICO	13,12		1939,3	254,4
MADERA	0,52			10,1
METALES	1,24			24,0
RESIDUOS DE OFICINA	0,01			0,2
ESCOMBROS	0,17			3,3
CAUCHO	1,03			20,0

Residuos aprovechables energéticamente

Residuos sólidos urbanos	Año 2015 RSU t/día
orgánico	1205,9
residuo de baño	149,1
papel	158,1
textiles	40,9
plástico	254,4
madera	10,1
caucho	20,0
Total	1838,5

Tabla N°16: Cantidad de residuos generados que se producirían por día en el año 2015 clasificados por tipo de residuo que pueden ser aprovechados mediante la valorización energética.

Residuos sólidos urbanos	RSU t/día
ORGÁNICO	1205,9
RESIDUO DE BAÑO	149,1
PAPEL	158,1
TEXTILES	40,9
PLÁSTICO	254,4
MADERA	10,1
CAUCHO	20,0
Total	1838,5

Tabla N°17: Cantidad de residuos generados que se producirían por día en el año 2016 clasificados por tipo de residuo que pueden ser aprovechados mediante la valorización energética.

Residuos sólidos urbanos	RSU t/día
ORGÁNICO	1227,7
RESIDUO DE BAÑO	151,8
PAPEL	160,9
TEXTILES	41,7
PLÁSTICO	259,1
MADERA	10,3
CAUCHO	20,3
Total	1871,8

Tabla N°18: Cantidad de residuos generados que se producirían por día en el año 2017 clasificados por tipo de residuo que pueden ser aprovechados mediante la valorización energética.

Residuos sólidos urbanos	RSU t/día
ORGÁNICO	1249,6
RESIDUO DE BAÑO	154,5
PAPEL	163,8
TEXTILES	42,4
PLÁSTICO	263,7
MADERA	10,4
CAUCHO	20,7
Total	1905,1

Tabla N°19: Cantidad de residuos generados que se producirían por día en el año 2018 clasificados por tipo de residuo que pueden ser aprovechados mediante la valorización energética.

Residuos sólidos urbanos	RSU t/día
ORGÁNICO	1271,3
RESIDUO DE BAÑO	157,2
PAPEL	166,6
TEXTILES	43,1
PLÁSTICO	268,2
MADERA	10,6
CAUCHO	21,1
Total	1938,1

Tabla N°20: Cantidad de residuos generados que se producirían por día en el año 2019 clasificados por tipo de residuo que pueden ser aprovechados mediante la valorización energética.

Residuos sólidos urbanos	RSU t/día
ORGÁNICO	1293,0
RESIDUO DE BAÑO	159,9
PAPEL	169,5
TEXTILES	43,9
PLÁSTICO	272,8
MADERA	10,8
CAUCHO	21,4
Total	1971,3

Tabla N°21: Cantidad de residuos generados que se producirían por día en el año 2020 clasificados por tipo de residuo que pueden ser aprovechados mediante la valorización energética.

Residuos sólidos urbanos	RSU t/día
ORGÁNICO	1314,5
RESIDUO DE BAÑO	162,6
PAPEL	172,3
TEXTILES	44,6
PLÁSTICO	277,4
MADERA	11,0
CAUCHO	21,8
Total	2004,2

Cálculo para la producción de energía eléctrica por tonelada de RSU incinerados periodo 2015 – 2020. Se multiplica Peso total RSU t/día por la generación de energía producida por tonelada de residuo que está entre los rangos de 0,4 – 0,48 MW.

Tabla N° 22: producción de energía eléctrica por tonelada de RSU incinerados en el año 2015

Peso total RSU t/día	Producción de energía eléctrica MW/día
1838,5	735,4 - 882,48

Tabla N° 23: Energía para consumo propio de la planta y exportada para el año 2015

Generación de energía eléctrica MW/día	Auto consumo 15% MW/día	Energía exportada MW/día
735,4 - 882,48	110,31 - 132,37	625,09 – 750,11

Tabla N° 24: Cálculo de la reducción del peso de los residuos sólidos urbanos luego de ser valorados energéticamente.

Peso total RSU t/día	Reducción RSU 70% (t/día)	Reducción RSU 75% (t/día)
1838,5	551	459

Cálculo del volumen de residuos al someterlos a tratamiento térmico.

Al tener la densidad y el peso de los residuos podemos calcular el volumen inicial y el volumen final luego de someter los residuos a incineración.

Tabla N° 25: Densidades de residuos sólidos urbanos que pueden ser incinerados

Residuos sólidos urbanos	Densidades kg/m³
orgánico	199,64
residuo de baño	140,64
papel	60,07
textiles	136,01
plástico	43,9
madera	237,0
caucho	131,0

Compilado de Castillo 2012 y Jaramillo 2011.

Tabla N° 26: Cálculo del volumen de los residuos sólidos urbanos que serían producidos por día, en el año 2015

Residuos sólidos urbanos	Densidades kg/m³	RSU t/día	Volumen m³
orgánico	199,64	1205,9	6040,4
residuo de baño	140,64	149,1	1060,2
papel	60,07	158,1	2631,9
textiles	136,01	40,9	300,7
plástico	43,9	254,4	5795,0
madera	237,0	10,1	42,6
caucho	131,0	20,0	152,7
Total			16023,4

Tabla N° 27: Reducción del peso de los residuos valorizados energéticamente por día en el año 2015.

Volumen residuos día (m³)	Volumen residuos día reducción del 90% (m³)	Volumen residuos día reducción del 95% (m³)
16023,4	1602,3	801,2

Tabla N° 28: producción de energía eléctrica por tonelada de RSU incinerados en el año 2016

Peso total RSU t/día	Producción de energía eléctrica MW/día
1871,8	748,72 - 898,46

Tabla N° 29: Energía para consumo propio de la planta y exportada para el año 2016

Generación de energía eléctrica MW/día	Auto consumo 15% MW/día	Energía exportada MW/día
748,72 - 898,46	112,31 - 134,77	636,41 - 763,69

Tabla N° 30: Cálculo de la reducción del peso de los residuos sólidos urbanos luego de ser valorados energéticamente en el año 2016.

Peso total RSU t/día	Reducción RSU 70% (t/día)	Reducción RSU 75% (t/día)
1871,8	561,54	467,95

Tabla N° 31: Cálculo del volumen de los residuos sólidos urbanos que serían producidos por día, en el año 2016

Residuos sólidos urbanos	Densidades kg/m³	RSU t/día	Volumen m³
orgánico	199,64	1227,7	6149,56922
residuo de baño	140,64	151,8	1079,35154
papel	60,07	160,9	2678,5417
textiles	136,01	41,7	306,595103
plástico	43,9	259,1	5902,05011
madera	237,0	10,3	43,4599156
caucho	131,0	20,3	154,961832
Total			16314,52943

Tabla N° 32: Reducción del peso de los residuos valorizados energéticamente por día en el año 2016.

Volumen residuos día (m³)	Volumen residuos día reducción del 90% (m³)	Volumen residuos día reducción del 95% (m³)
16314,5	1631,5	815,7

2017

Tabla N° 33: producción de energía eléctrica por tonelada de RSU incinerados en el año 2017

Peso total RSU t/día	Producción de energía eléctrica MW/día
1905,1	762,04 – 914,45

Tabla N° 34: Energía para consumo propio de la planta y exportada para el año 2017

Generación de energía eléctrica MW/día	Auto consumo 15% MW/día	Energía exportada MW/día
762,04 – 914,45	114,31 - 137,17	647,73 - 777,28

Tabla N° 35: Cálculo de la reducción del peso de los residuos sólidos urbanos luego de ser valorados energéticamente en el año 2017.

Peso total RSU t/día	Reducción RSU 70% (t/día)	Reducción RSU 75% (t/día)
1905,1	571,5	476,3

Tabla N° 36: Cálculo del volumen de los residuos sólidos urbanos que serían producidos por día, en el año 2017

Residuos sólidos urbanos	Densidades kg/m³	RSU t/día	Volumen m³
orgánico	199,64	1249,6	6259,26668
residuo de baño	140,64	154,5	1098,54949
papel	60,07	163,8	2726,81871
textiles	136,01	42,4	311,741784
plástico	43,9	263,7	6006,83371
madera	237,0	10,4	43,8818565
caucho	131,0	20,7	158,015267
		Total	16605,1075

Tabla N° 37: Reducción del peso de los residuos valorizados energéticamente por día en el año 2017.

Volumen residuos día (m³)	Volumen residuos día reducción del 90% (m³)	Volumen residuos día reducción del 95% (m³)
16605,1	1660,5	830,4

2018

Tabla N° 38: producción de energía eléctrica por tonelada de RSU incinerados en el año 2018

Peso total RSU t/día	Producción de energía eléctrica MW/día
1938,1	775,24 - 930,29

Tabla N° 39: Energía para consumo propio de la planta y exportada para el año 2018

Generación de energía eléctrica MW/día	Auto consumo 15% MW/día	Energía exportada MW/día
775,24 - 930,29	116,29 - 139,54	658,95 - 790,75

Tabla N° 40: Cálculo de la reducción del peso de los residuos sólidos urbanos luego de ser valorados energéticamente en el año 2018.

Peso total RSU t/día	Reducción RSU 70% (t/día)	Reducción RSU 75% (t/día)
1938,1	581,4	484,5

Tabla N° 41: Cálculo del volumen de los residuos sólidos urbanos que serían producidos por día, en el año 2018

Residuos sólidos urbanos	Densidades kg/m³	RSU t/día	Volumen m³
orgánico	199,64	1271,3	6367,96233
residuo de baño	140,64	157,2	1117,74744
papel	60,07	166,6	2773,431
textiles	136,01	43,1	316,888464
plástico	43,9	268,2	6109,33941
madera	237,0	10,6	44,7257384
caucho	131,0	21,1	161,068702
Total			16891,16308

Tabla N° 42: Reducción del peso de los residuos valorizados energéticamente por día en el año 2018.

Volumen residuos día (m³)	Volumen residuos día reducción del 90% (m³)	Volumen residuos día reducción del 95% (m³)
16891,2	1689,1	844,6

2019

Tabla N° 43: producción de energía eléctrica por tonelada de RSU incinerados en el año 2019

Peso total RSU t/día	Producción de energía eléctrica MW/día
1971,3	788,52 - 946,22

Tabla N° 44: Energía para consumo propio de la planta y exportada para el año 2019

Generación de energía eléctrica MW/día	Auto consumo 15% MW/día	Energía exportada MW/día
788,52 - 946,22	118,28 - 141,93	670,24 - 804,29

Tabla N° 45: Cálculo de la reducción del peso de los residuos sólidos urbanos luego de ser valorados energéticamente en el año 2019.

Peso total RSU t/día	Reducción RSU 70% (t/día)	Reducción RSU 75% (t/día)
1971,3	591,39	492,8

Tabla N° 46: Cálculo del volumen de los residuos sólidos urbanos que serían producidos por día, en el año 2019

Residuos sólidos urbanos	Densidades kg/m³	RSU t/día	Volumen m³
orgánico	199,64	1293,0	6476,65798
residuo de baño	140,64	159,9	1136,94539
papel	60,07	169,5	2821,70801
textiles	136,01	43,9	322,770385
plástico	43,9	272,8	6214,12301
madera	237,0	10,8	45,5696203
caucho	131,0	21,4	163,358779
Total			17181,13317

Tabla N° 47: Reducción del peso de los residuos valorizados energéticamente por día en el año 2019.

Volumen residuos día (m³)	Volumen residuos día reducción del 90% (m³)	Volumen residuos día reducción del 95% (m³)
17181,1	1718,1	859,1

2020

Tabla N° 48: producción de energía eléctrica por tonelada de RSU incinerados en el año 2020

Peso total RSU t/día	Producción de energía eléctrica MW/día
2004,2	801,68 - 962,02

Tabla N° 49: Energía para consumo propio de la planta y exportada para el año 2020

Generación de energía eléctrica MW/día	Auto consumo 15% MW/día	Energía exportada MW/día
801,68 - 962,02	120,25 - 144,3	681,43 - 817,72

Tabla N° 50: Cálculo de la reducción del peso de los residuos sólidos urbanos luego de ser valorados energéticamente en el año 2020.

Peso total RSU t/día	Reducción RSU 70% (t/día)	Reducción RSU 75% (t/día)
2004,2	601,26	501,05

Tabla N° 51: Cálculo del volumen de los residuos sólidos urbanos que serían producidos por día, en el año 2020

Residuos sólidos urbanos	Densidades kg/m³	RSU t/día	Volumen m³
orgánico	199,64	1314,5	6584,351833
residuo de baño	140,64	162,6	1156,143345
papel	60,07	172,3	2868,320293
textiles	136,01	44,6	327,9170649
plástico	43,9	277,4	6318,906606
madera	237,0	11,0	46,41350211
caucho	131,0	21,8	166,4122137
		Total	17468,46486

Tabla N° 52: Reducción del peso de los residuos valorizados energéticamente por día en el año 2020.

Volumen residuos día (m³)	Volumen residuos día reducción del 90% (m³)	Volumen residuos día reducción del 95% (m³)
17468,5	1746,8	873,4

GASIFICACIÓN

Tabla N° 53: producción de energía eléctrica exportada por tonelada de RSU gasificado en el periodo 2015 - 2020

Año	Peso total RSU t/día	Producción de energía eléctrica MW/día
2015	1838,5	1117,808
2016	1871,8	1138,0544
2017	1905,1	1158,3
2018	1938,1	1178,36
2019	1971,3	1198,55
2020	2004,2	1218,55

PIRÓLISIS

Tabla N° 59: producción de energía eléctrica exportada por tonelada de RSU sometidos a pirólisis en el periodo 2015 - 2016

Año	Peso total RSU t/día	Producción de energía eléctrica MW/día
2015	1838,5	1470,8
2016	1871,8	1497,44
2017	1905,1	1524,08
2018	1938,1	1550,47
2019	1971,3	1577,04
2020	2004,2	1603,36