

Aplicación de la combustión controlada como una forma de valorización energética de los residuos sólidos urbanos en el distrito de San Juan de Lurigancho

Application of controlled combustion as a form of energy recovery
of urban solid waste in the San Juan de Lurigancho district

Carmen Gilda Avelino Carhuaricra¹

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el propósito de aplicar la combustión controlada como una forma de valorización energética de los residuos sólidos urbanos (RSU) en el distrito de San Juan de Lurigancho. Su importancia radica en que las plantas de combustión controlada son complementos de otros sistemas de tratamiento (reciclaje, compostaje, vertedero controlado), estando dentro de los Sistemas de Gestión Integral de los Residuos. Se procedió a tomar muestras en doce estaciones de recojo de RSU. Se aplicaron los métodos descritos en la Guía de valorización energética de residuos, de la Dirección General de Industria Energía y Minas (Comunidad de Madrid, 2010). Para la caracterización mineralógica de las cenizas se empleó difracción de rayos X, en un difractómetro SIEMENS D5000, mientras que la caracterización química se realizó mediante análisis elemental por espectrofotometría de absorción atómica. Para la localización de la zona de la planta incineradora, se tomó en cuenta criterios de compatibilidad ambiental, como los núcleos urbanos, los espacios protegidos, zonas de cultivo, especialmente en lo referente a las concentraciones de contaminantes en el aire. De los resultados se concluye que la energía obtenida a partir de los volúmenes de los RSU y el sistema de incineración de los residuos cumplen con la normatividad de los estándares de calidad del aire por su control continuo de emisión de los contaminantes a la atmósfera.

Palabras clave: Suelo urbano, incineración, recuperación de energía, combustión

ABSTRACT

This research has been carried out with the purpose of applying controlled combustion as a way of energy recovery of solid urban waste (SUW) in San Juan de Lurigancho district. Its importance lies in the fact that controlled combustion plants are an adjunct to other treatment systems (recycling, composting and controlled dumping), being within the Comprehensive Waste Management Systems. Samples were taken in twelve Urban Solid Waste collecting stations. The applied methods are described in the energy recovery Handbook of the Directorate General of Industry, Energy and Mines, Madrid Community, 2010. X-ray diffraction using a SIEMENS D5000 diffractometer was carried out for the mineralogical characterisation of the ashes, while Atomic Absorption Spectrophotometry Elemental Analysis was used for the chemical characterisation. For the incineration plant location, environmental compatibility criteria such as urban centres, protected areas and growing areas were considered, especially those in relation to the concentration of air pollutants. Based on the results, it has been concluded that the energy obtained from the Urban Solid Waste volumes and waste incineration system they meet the air quality standards due to its permanent atmospheric contaminants emission monitoring.

Key words: Urban soil, incineration, energy recovery, combustion

¹Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Química. Av. Juan Pablo II 306-308, Callao, Perú.

INTRODUCCIÓN

A medida que el hombre ha ido evolucionando y progresando, también se está produciendo un aumento en la generación de residuos.

Este incremento ha provocado en muchos casos una ruptura del equilibrio entre la biosfera del planeta y las actividades humanas. En la segunda mitad de siglo XX comenzaron a experimentarse las grandes concentraciones urbanas, los usos consumistas, la incorporación de elementos difícilmente reutilizables, la generación de desechos a partir de las actividades industriales, sanitarias, comerciales, etc., para los que no se había previsto un mecanismo de reciclado, eliminación o transformación diferente al vertido.

La combustión controlada conocida también como incineración es un proceso que finaliza al transformarse la fracción combustible de los residuos sólidos urbanos en materiales inertes y gases, viene a ser una alternativa idónea para resolver el problema de los residuos domiciliarios, siendo el objetivo aplicar la combustión controlada como una forma de valorización energética de los residuos sólidos urbanos en el distrito de San Juan de Lurigancho.

Los sistemas empleados en los procesos de combustión controlada de los residuos sólidos urbanos están dentro de los sistemas de Gestión Integral de los Residuos, ya que las plantas de combustión controlada es un complemento de otros sistemas de tratamiento (reciclaje, compostaje, vertedero controlado).

Al mismo tiempo, la producción de energía eléctrica o térmica mediante la combustión controlada de los residuos sólidos urbanos no es nada despreciable, contribuye al abastecimiento y diversificación energética: una familia media produce basura suficiente para generar hasta un 20% de su consumo eléctrico anual (Muruais, 2006).

Además, las escorias procedentes de la combustión pueden ser utilizadas como sub-base en la construcción de carreteras, una vez clasificadas granulométricamente.

En el pasado, los residuos eran considerados como un único material para el cual se podía encontrar una única solución de tratamiento, el vertido. Hoy en día se trata a los residuos separadamente en sus componentes, cada uno de los cuales necesita una recogida selectiva, transporte, tratamiento y destino final separado. (Villena, 2006).

La hipótesis planteada es la aplicación de la combustión controlada como una forma adecuada para la valorización energética de los residuos sólidos urbanos en el distrito de San Juan de Lurigancho, siendo los procesos térmicos, físicos y químicos los que disminuyen los gases emitidos a la atmósfera y orientan su clasificación de acuerdo a los valores del índice del poder calorífico de los materiales.

La combustión controlada ya es una tecnología conocida, probada y aprobada en todos los países europeos y del primer mundo, desde los años 90. La capacidad a nivel mundial, generalmente es a partir de 100 ton/día de residuos.

Todas las plantas en funcionamiento de generación de vapor y/o energía eléctrica a partir de RSU en el mundo trabajan por incineración (a excepción de una planta de 240 ton/día en el sur de Alemania (Burgau), que trabaja con pirólisis desde 1986, hoy está fuera de servicio por la caída de su chimenea en un accidente mecánico. (Funiber: Valorización de RSU, 2008).

Otro estudio realizado por la Agencia Nacional de Protección del Medio Ambiente de Suecia y la Agencia Federal Alemana, señalan que en los procesos de combustión adecuadamente controlados, los gases emitidos cuentan con un riguroso tratamiento que los convierte en inertes o bien se ha reducido su potencial contaminante a valores muy inferiores a los que existen en la atmósfera y en el aire que respiramos.

Por otra parte, la Asociación Española en Valorización Energética de RSU, AEVERSU 2010, señala que la incineración es viable económica y ambientalmente.

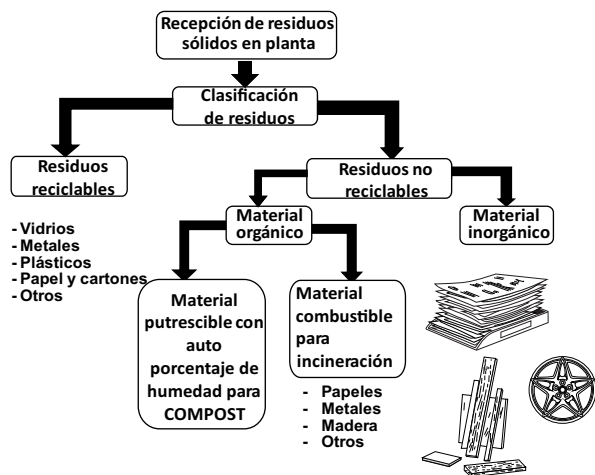


Figura 1. Clasificación previa de los RSU. (Funiber, valorización energética de RSU, 2008).

Área de combustión

El horno es la instalación utilizada para que se pongan en contacto el combustible y el comburente para que se lleve a cabo la reacción exotérmica en una cámara de combustión; ésta posibilita la mezcla de aire secundario introducido por encima de la parrilla con los gases, que garantiza el pre - secado de los residuos frescos introducidos.

ÁREA DE COMBUSTIÓN

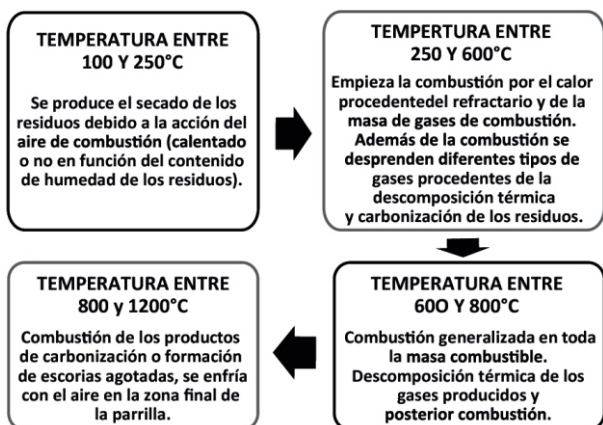


Figura 2. Temperaturas en el área de combustión. (Funiber, valorización energética de RSU, 2008).

Los hornos de incineración deberán cumplir con los siguientes requisitos y condiciones:

- Adaptables a la heterogeneidad de los RSU.
- Tener una buena distribución del aire de combustión.
- Fiables en el mecanismo de extracción de escorias.
- Cumplir estrictamente la normativa vigente, mantener una temperatura mínima de 850 °C durante, al menos dos segundos, en presencia de un 6% de oxígeno, como mínimo.

Circuito de humos y vapor

Los gases calientes procedentes de la cámara de combustión se llevan a una cámara de postcombustión. En dicha cámara los gases alcanzan 800 °C. Luego, ingresan a un pre calentador que tiene la misión de calentar gracias a los propios humos calientes.

Los humos todavía calientes, ceden el calor al agua de la caldera de recuperación produciendo de esta manera vapor, que puede ser utilizado para accionar una turbina y producir electricidad o bien calor.

El vapor producido en esta fase depende de la humedad, del contenido de materiales y del poder calorífico del combustible.

Los gases deben salir por la chimenea a una temperatura de alrededor de los 100 °C.

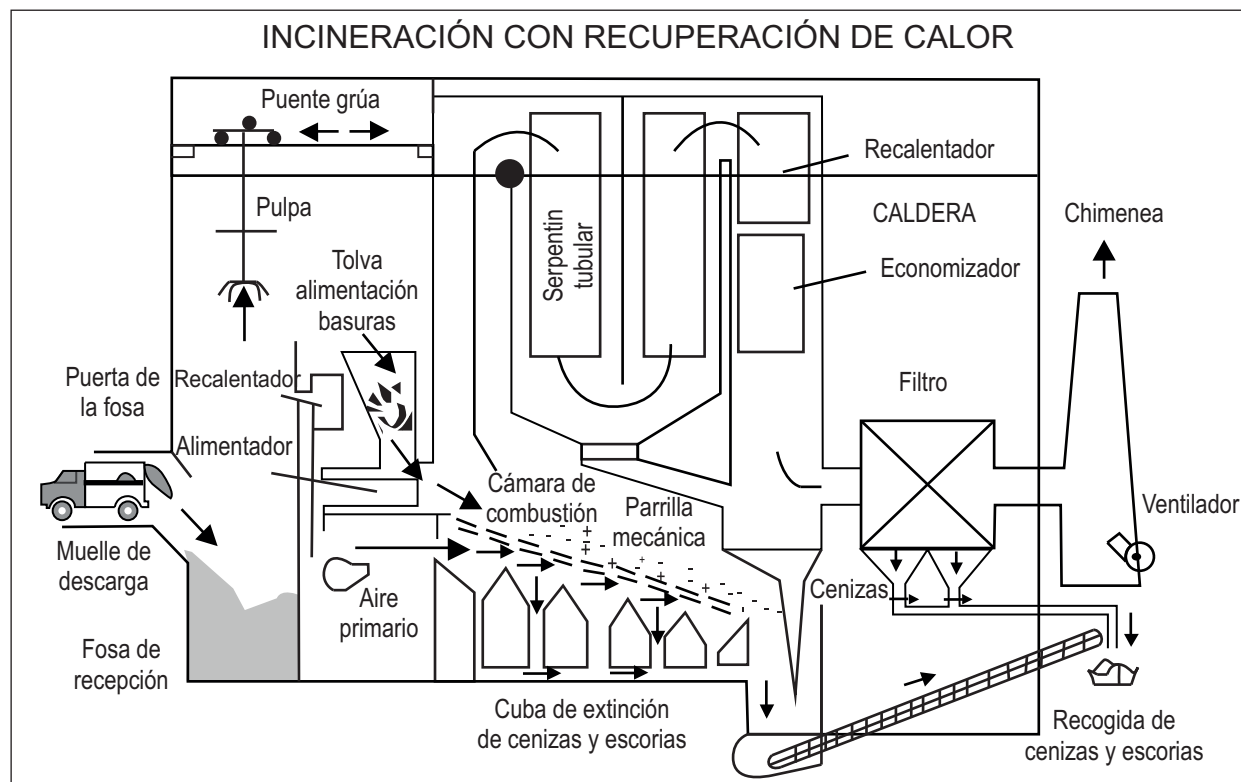


Figura 3. Planta de incineración de residuos con recuperación de calor. Funiber, valorización energética de RSU, 2008.

Sistema de recogida, extracción y valorización de escorias

La escoria es un material fundamentalmente alcalino, constituido mayoritariamente por óxidos de silicio, calcio, sodio, aluminio, hierro y potasio. Las que proceden de los hornos de parrilla se caracterizan por tener una carga orgánica importante.

Las escorias se pueden valorizar de formas diferentes en función de su generación, tamaño de partícula y grado de enfriamiento. Su ceramización sirve como árido para la formación de hormigones, materia prima para la fabricación de clínquer, lana mineral, morteros, etc.

Sistema de recogida, extracción y valorización de cenizas

Las cenizas volantes de las plantas incineradoras de

RSU son residuos tóxicos y peligrosos, ya que se recogen en el electrofiltro y junto a ellas aparecen casi todos los metales pesados generados en la incineración de RSU. Además, contienen sales solubles, lo que complica la situación frente a la lixiviación que sufrirían en un vertedero controlado sin tratamiento previo. Es por ello, que algunos países ya han prohibido su vertido en cualquier tipo de vertedero y obligan a su vitrificación como única forma segura de inertizar.

Sistema de depuración y evacuación de gases

La planta incineradora tiene un sistema de depuración y evacuación de los gases producidos durante la incineración, para reducir el polvo que contienen antes de su salida a la atmósfera.

De los gases generados en este proceso, los compuestos organodorados de la familia de los dióxidos y furanos son los que poseen un mayor

poder contaminante, ya que son compuestos químicos tóxicos y bioacumulativos. No obstante, también tienen especial relevancia otros gases producidos en estos procesos, como el monóxido de carbono, las partículas en suspensión de metales pesados, sustancias acidulantes e hidrocarburos policíclicos clorados.

Los sistemas de depuración comienzan en una cámara de enfriamiento cuyo papel es enfriar los gases, suele utilizarse para este fin el aire o agua pulverizada.

Lavado mediante scrubber o sistema húmedo

Se basa en poner en contacto el gas con soluciones acuosas de reactivos básicos (sosa cáustica o cal apagada u otros), aunque también pueden utilizarse disoluciones ácidas con neutralización externa, en torres de reacción.

El contacto entre el gas y el líquido es relativamente sencillo de establecer y controlar: el agua disuelve los contaminantes o los capta con facilidad y las reacciones tienen lugar con rapidez y con rendimientos muy altos.

Existe un gran número de variantes en el proceso húmedo, entre las que destacan: el proceso húmedo con secador de sales y el proceso húmedo con depuración de aguas. En la primera modalidad, se utilizan secadores que acumulan los productos de la reacción en forma de sales en el fondo del secador. Por otro lado, en la segunda alternativa, los contaminantes de los humos se recogen en agua que, posteriormente, deberá ser depurada.

Valorización energética

La valorización energética consiste en aprovechar el poder calorífico de los residuos, siempre y cuando sea asimilable al de un

combustible y el balance ambiental sea favorable. Por otro lado, la valorización energética implica la obtención de energía utilizando, en lugar de un combustible convencional, los residuos combustibles.

Por ejemplo, el combustible derivado de los rechazos plásticos puede ser utilizado en altos hornos, cementeras y centrales térmicas.

Recuperación energética

El Poder calorífico (PCI) es la cantidad de energía que se desprende en la combustión de un material con secado previo, es decir, consumiendo una parte de su energía en el calor latente de vaporización del agua presente en el material, medido en kcal/kg o en MJ/kg.

Valorizar implica dar un valor añadido a un subproducto residual que, por sí mismo, no puede ser reutilizable. En el caso de la valorización energética, este valor se traduce como energía.

Los gases de combustión salen del horno de combustión completa a 800 – 850 °C intercambiando calor para generar vapor saturado y del intercambiador a 200 °C por lo que el salto térmico es de 600 – 650 °C, o sea pequeño, debiéndose usar grandes caudales de gases (gran escala de planta) para lograr eficiencia de generación energética. (Funiber: Guía de Valorización de RSU, 2008).

Las plantas de incineración de RSU pueden recuperar y almacenar el calor producido en la combustión de los residuos. Este calor puede aprovecharse para varios fines como la electricidad y vapor de agua.

Producción de vapor

El vapor obtenido de la caldera de recuperación es el rendimiento energético de una instalación de incineración de un 20% aproximadamente utilizado por diferentes industrias vecinas.

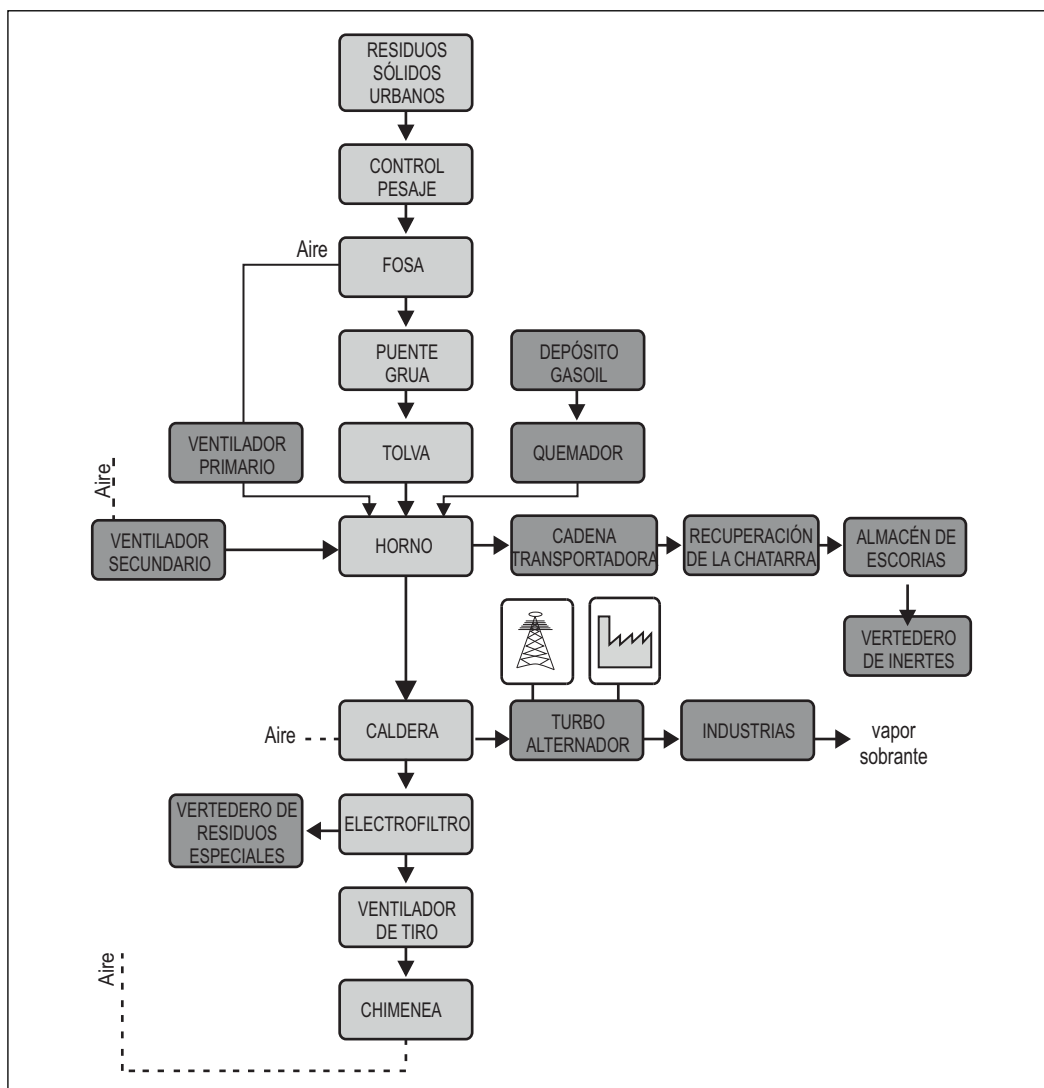


Figura 4. Planta incineradora con fases de recuperación de energía. Funiber, valorización energética de RSU, 2008

MATERIAL Y MÉTODOS

Los métodos utilizados para el análisis químico de las cenizas volantes se presentan en la siguiente tabla 1.

La caracterización mineralógica de las cenizas se realizó utilizando difracción de rayos X, en un difractómetro SIEMENS D5000, mientras que para la caracterización química se utilizó el análisis elemental en un equipo EA y digestión ácida en bombas de teflón con una mezcla de agua regia y ácido fluorhídrico, determinándose Si, Al, Fe, Ca, Mg, C, N, S y H por espectrofotometría de absorción atómica con llama UNICAM. Además, se determinó la humedad a 105 °C..

Los métodos utilizados para el análisis químico de las cenizas volantes se presentan en la siguiente tabla 1.

Tabla 1
Métodos para los análisis químico

Análisis	Método
SiO ₂ (%)	Difractometría
Al ₂ O ₃ (%)	Difractometría
Fe ₂ O ₃ (%)	Difractometría
CaO (%)	Difractometría
MgO (%)	Difractometría
C(%), N(%), S(%), N(%), H	Espectrofotometría de absorción atómica con llama

Lugar del estudio y periodo desarrollado

La unidad de análisis fueron los residuos sólidos urbanos domésticos tomadas en ocho estaciones: 2 domiciliarios, 2 restaurantes, 2 oficinas, 2 mercados.

Descripción de la planta

La capacidad de instalación fue de 20 Ton/día de residuos sólidos, con un poder calorífico entre 1200 y 2200 kcal/kg.

El silo tuvo 800 m³ de capacidad apto para contener los residuos entre 5 - 6 días. Los residuos fueron introducidos en la tolva de carga del horno mediante un puente grúa, provisto de cuchara bivalva con garras de 1m³ de capacidad.

El horno estuvo provisto de una parrilla móvil de acero refractario, la cual estuvo distribuida en tres zonas: parrilla de pre-secado, parrilla de combustión, parrilla de acabado.

En la cámara de combustión, los humos permanecieron el tiempo necesario en su interior, eliminándose mediante la introducción de aire secundario.

Las escorias apagadas fueron a parar a un canal de extracción con agua, donde se enfriaron.

Los humos abandonaron la cámara de combustión entre 900 y 1000 °C, pasaron a través de un generador de vapor produciendo 6800 kg/h de vapor saturado a 12 atmósferas absolutas. Los humos abandonaron la caldera a 350 °C y fueron depurados.

El funcionamiento de la planta incineradora fue de 24 horas al día. En cuanto a la emisión de contaminantes a la atmósfera, se determinó el volumen y el tipo de contaminantes emitidos. Dentro de los contaminantes, se evaluó el contenido en partículas, ácido clorhídrico, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos. Asimismo, también se determinó la temperatura y caudal de salida de los gases.

Método estadístico aplicado para el tratamiento de datos

Se aplicó como técnica estadística los modelos de regresión para determinar las temperaturas promedio en la cámara de combustión, haciendo uso del paquete estadístico SPSS15.

RESULTADOS

i) Composición de los residuos sólidos urbanos

Tabla 2
Composición de RSU

Residuos sólidos urbanos	Porcentaje
Materia orgánica fermentable	22,2
Papel cartón	28,5
Plásticos	35,4
Vidrio	10,1
Madera	1,5
Metales	1,2
tierra/ cenizas/loza	1,1
Total	100

ii) Características técnicas de la planta

Tabla 3
Características de la planta de incineración

Número de hornos	1
Capacidad nominal por horno	20 ton/día
Capacidad de la planta	30 ton/día
Capacidad máxima posible	40 ton/día
Fosa de entrada de residuos	800 (m ³)

Tabla 4
Características del horno

Capacidad térmica aproximada	6000 (gcal/h)
Temperatura máxima promedio cámara de combustión	1050 °C
Temperatura mínima promedio cámara de combustión	750 °C

Tabla 5
Características del aire de combustión

Caudal de aire primario	13,5	Nm ³ /h
Caudal de aire secundario	4	Nm ³ /h

Tabla 6

Características del pre-calentador de aire por vapor

Caudal de aire a calentar	13,5 Nm ³ /h
Temperatura promedio del aire a la entrada	20°C
Temperatura promedio del aire a la salida	90°C
Caudal de vapor	0,5 (t/h)

Tabla 7

Características de recalentador de aire por humos

Caudal de aire a calentar	13,5 Nm ³ /h
Temperatura promedio del aire a la entrada	90 °C
Temperatura promedio del aire a la salida	320°C

Tabla 8

Características de la Caldera

Volumen	10m ³
Caudal de vapor máximo (t/h)	5 t/h
Presión de vapor	12 atm
Temperatura promedio de humos salida caldera	350 °C

Tabla 9

Características del depurador de humos

Caudal de gas	103 Nm ³ /h
Temperatura promedio de los humos	350°C

iii) Composición del combustible derivado del residuo (RDF)

Tabla 10

Composición del combustible derivado del residuo (RDF)

Fracción residual	% en peso húmedo sobre el total del RSU
Papel, carton	30
Textiles, gomas y cuero	3
Plástico	18
Madera	2
Total	53

Tabla 11

Composición porcentual y el PCI de los materiales que forman RDF

Subproducto	Composición						PCI (kcal/kg)
	H ₂ O	C	H	O	N ₂	Cenizas	
Periódicos	6	46	6	40	0,1	1,4	4.430
Cartón corrugado	5	41	5	43	0,1	5,1	3.913
Muebles	6	47	6	40	0,1	1,3	4.341
Polietileno alta densidad	---	---	--	---	---	---	10.000
PVC	---	---	--	---	---	---	5.000
Poliéster	---	---	--	---	---	---	7.000

iv) Composición química de las cenizas, escorias procedentes de la incineración

Tabla 12

Composición química de las cenizas procedentes de la incineración de los RSU

Compuestos	Porcentaje en peso
SiO ₂	31,4
CaO	19,3
Al ₂ O ₃	16,3
Fe ₂ O ₃	2,7
Na ₂ O	3,4
SO ₃	2,9
K ₂ O	4,6
TiO ₂	1,9
MgO	2,7
P ₂ O ₅	1,6
Mn ₃ O ₄	0,16
Materia orgánica	0,5
C _{total}	7,6
C _{libre}	6,5

Tabla 13

Composición química de las escorias procedentes de la incineración de RSU

Compuestos	Porcentaje
SiO ₂	18,7%
CaO	24,5%
Material orgánico	3-20%
Al ₂ O ₃	12,7%
Fe ₂ O ₃	1,6%
Na ₂ O	5,8%
SO ₃	0,02%
K ₂ O	4,3%
TiO ₂	0,7%
MnO	0,2%

v) Viabilidad Económica

Precio de venta: 1,85 ton x 2000 nuevos soles /ton
= 3700 nuevos soles/ton

Tabla 14

Viabilidad Económica

Producción de vapor para 1 ton de residuo	PCI
1,5 Ton	1200 kcal/kg
2,7 Ton	2200 kcal/kg
Ingreso por venta de vapor 1,85 ton	1500 kcal/Kg

vi) Viabilidad Ambiental

Se parte de una política medioambiental enfocada a tres aspectos:

- Reducir la producción de residuos.
- Reciclar los residuos posibles.
- Disponer el resto de residuos de la forma más adecuada para preservar el medio ambiente.

La correcta gestión de residuos implica la preservación de sustancias como sea posible dentro del ciclo natural.

Se consideró dos aspectos:

- Criterios contemplados dentro del sistema de gestión integral de eliminación de residuos.
- Únicamente se procede a la incineración de aquellos residuos irrecuperables.

Se puede afirmar que el impacto de una planta incineradora es mínimo y en cualquier caso es el más indicado porque está al alcance de la población.

DISCUSIÓN

Para la aplicación de la valorización energética se determinó la composición de los residuos sólidos urbanos tomados como unidad de análisis en las ocho estaciones, cuyos resultados fueron 22,2% de materia orgánica, 28,5% de papel cartón, 35,4% de plásticos y 10,1% de vidrio; lo que significa que las oficinas, domicilios, restaurantes y mercados son fuente de generación de RSU con estas características.

Por otro lado, se obtuvo la composición del combustible derivado del residuo (RDF), siendo el 30% de papel-cartón y 18 % de plástico, con esta composición la cantidad de energía que se desprende de la combustión alcanza valores entre 3900 a 10000 kcal/kg, obteniendo un alto poder calorífico (PCI) para la buena combustión. Lo que se contrasta con muchos autores que señalan, que los plásticos tienen un alto valor energético que es posible recuperar y actuar como un excelente combustible, ya que tienen un poder calorífico similar al gas natural y superior a combustibles tradicionales como el fuel oil y el carbón (Ecoplas).

La combustión controlada conocida como incineración, se viene utilizando en muchos países de Europa, también en Estados Unidos y Japón, como parte de gestión de los residuos, siendo esta una forma de la Recuperación Energética como un proceso que utiliza los residuos domésticos como combustible, y aprovecha el gran poder calorífico de los plásticos para generar energía eléctrica y calefacción a través de la combustión con tecnología limpia. (AEVERSU, 2010).

Según reporte de Plastics the Facts, en Europa el 41,6% de los plásticos post-consumo fueron recuperados de esta manera en un período de

10 años, el aumento del reciclado de plásticos fue de 79%, la recuperación energética de los plásticos se incrementó en un 61%.

Para la aplicación de la combustión controlada, se consideraron las características de la planta con una capacidad nominal de 20 ton/día, capacidad térmica aproximada de 6000 gcal/h, temperatura máxima promedio en la cámara de combustión 1050 °C y temperatura mínima promedio de 750 °C. Mientras que el recalentador de aire de humos presentó un caudal de 13,5 Nm³/h, con una temperatura promedio de aire a la entrada de 90 °C y de salida a 20 °C, la caldera con un volumen 10 m³, caudal de vapor máximo 5 t/h, y presión de vapor de 12 atm, con temperatura de humos a la salida de la caldera de 350 °C.

Al final de la incineración de RSU, la composición química de las escorias fueron básicamente 18,7% de óxido de silicio, 24,5% de óxido de calcio y 12,7% de trióxido de aluminio. Además, las cenizas presentaron valores de 31,4% de SiO₂, 19,3% de CaO y 16,3% de Al₂O₃. Lo que se podría utilizar como aglomerantes ya que son materiales inertes como sub-base en la construcción de carreteras.

De los resultados, se concluye que la aplicación de la combustión controlada como una forma de valorización energética de los residuos sólidos, es aceptable porque el valor del PCI obtenido en una tonelada de residuos genera 1,8 ton de vapor convertidos en soles, se obtiene 3 700 nuevos soles por cada tonelada de residuo.

Este valor multiplicado por la capacidad de 20 ton por día de residuo producen 74 000 nuevos soles por día, siendo muy rentable, viable económicamente, debido a que los ingresos son mayores que la inversión, además los cambios actuales en los hábitos de consumo de la población provocan un mayor uso de productos combustibles como el papel, cartón y plástico con los que el poder calorífico de RDF aumenta.

Se determinaron las condiciones para la combustión controlada considerando las características de la planta de incineración como la capacidad nominal, temperatura máxima y

mínima de la cámara de combustión, flujo de aire a la entrada y salida, condiciones del precalentador y recalentador de aire, condiciones para la caldera así como para el depurador de humos.

La clasificación de los residuos sólidos urbanos se realizaron en base al combustible derivado de residuos el RDF, siendo básicamente de papel cartón y plásticos.

La recuperación de energía en la combustión controlada es una buena alternativa dentro de la mayoría de los sistemas de minimización de residuos existentes por la producción de vapor utilizado para los procesos industriales

La incineración es el tratamiento adecuado como método de tratamiento de desecho, siendo la incineración una operación completa, porque le precede operaciones preliminares y luego los productos finales de incineración, como las cenizas y los gases que se emiten se controlan permanentemente ya que se lleva a cabo en una cámara de combustión herméticamente cerrada, donde se utiliza un sistema de depuración de humos con un lavado de lechada de cal para neutralizar los gases ácidos, evitando contaminar el aire y cumpliendo con la normatividad de los estándares de calidad ambiental (ECA).

AGRADECIMIENTOS

A la UNAC por el financiamiento del desarrollo de la investigación a través del Fondo Especial de Desarrollo Universitario (FEDU).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Centeno, L.M. (2012). Aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos. En M. Rodrigo, J. Muruais y A. Mailló, J. Ramírez, D. Vallina y E. Tolosa (Eds.), *Guía de valorización energética de residuos* (pp. 25-48) Madrid, España. Comunidad de Madrid.

Dirección general de Industria energía y minas. (2010). *Guía de valorización energética de residuos*. Comunidad de Madrid.

- Elías, X. (2005). *Tratamiento y valorización energética de residuos*. Madrid, España:: Editorial Díaz de Santos.
- Idea. (1996). *Manual de Energías Renovables. Incineración de RSU*. Madrid, España: Editorial Cinco Días. IDAE.
- Marimón, R. (1980). *Los residuos sólidos urbanos municipal*. Barcelona, España: Ed. Moneda y Crédito.
- Martínez, C. (1988). *Los residuos tóxicos y peligrosos. Unidades Técnicas Ambientales*. Madrid: Centro de Publicaciones del M.O.P.U.
- Moreno, E. (1995). *Efectos ambientales y rechazo social de una planta de reciclaje de basuras. Propuestas para su minimización. Monografías Psico-Ambientales*. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Muruais y Maílo. (2010). *La Incineración de los RSU aporte energético y ambiental*. Asociación Española de Valorización Energética de RSU.
- Muruais, J. (2010). *La incineración de los residuos sólidos urbanos aporte energético y ambiental*. Asociación Española de valorización energético de RSU (AEVERSU).
- Olprasert, CH. (1995). *Organic Waste Recycling*. New York: 2° Ed. John Wiley & Sons.
- Otero, L. R. (1992). *Residuos Sólidos Urbanos*. Madrid: Ed. Mopt.
- Relea, F. (1991). *Reducción de residuos-Guía práctica para la evaluación de oportunidades de procesos industriales*. Generalitat de Catalunya. Barcelona: Departamento de Medio Ambiente.
- Villena.E.(2006). *Residuos sólidos urbanos, su valorización energética*. Barcelona: Universidad de Politécnica de Cataluña.
- correo electrónico: cgavelinoc@unac.edu.pe