

"SISTEMA DE QUEMA DE RESIDUOS MUNICIPALES PARA GENERAR ENERGIA ELECTRICA EN LA CIUDAD DE LIMA"

AUTOR : **Ing. Manuel Luque Casanave**
 Profesor-Investigador- Departamento de Energía
 Facultad de Ingeniería Mecánica
 Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

RESUMEN:

Se presenta un sistema sostenible para el tratamiento y disposición final de la basura municipal de la ciudad de Lima, basado en el aprovechamiento energético de los residuos, para generar energía eléctrica, dentro de un esquema integral de gestión municipal de la basura, que incluye actividades previas de segregación, recolección, separación final y reciclaje de los residuos.

Se hace una investigación de los volúmenes de generación de basura en la ciudad de Lima. Se realiza un análisis y caracterización de la basura generada, determinando el tipo medio de componentes orgánicos, plásticos y otros, así como una determinación del poder calorífico de la basura. Se plantea el sistema integrado de gestión municipal de la basura, que debe acompañar al sistema de quema de residuos municipales, para reducir costos de segregación, separación en la planta de generación eléctrica. Se plantea la segregación inicial por el usuario (bolsas de colores según tipo de basura) para facilitar -luego de la recolección- las labores de separación final y reciclaje, previos a la quema de residuos.

Se analiza, dimensiona y selecciona el sistema de generación de vapor y turbogenerador. Se propone el sistema de tratamiento y depuración de gases de combustión y el sistema de recolección de cenizas. Se presenta el sistema integral de gestión de la basura municipal en un diagrama de bloques y el plano del sistema integral de generación de energía a partir de los residuos. Montos de generación de energía eléctrica (KW y KWh/mes) a obtenerse. Montos de inversión total (US\$) y específica (US\$/KW) requeridos y esquema de financiamiento. Ingresos municipales por la venta de energía eléctrica a las Distribuidoras de Electricidad o a usuarios finales. Asimismo se plantea las alternativas de ubicación de esta planta en las cercanías de la ciudad de Lima.

1.- OBJETIVO

Presentar un sistema sostenible para el tratamiento y disposición final de la basura municipal de la ciudad de Lima, basado en el aprovechamiento energético de los residuos, para generar energía eléctrica, dentro de un esquema integral de gestión municipal de la basura, que incluye actividades previas de segregación, recolección, separación final y reciclaje de los residuos.

opciones modernas y sostenibles, que permita reducir la basura y obtener ventajas económicas de ella, a través de las opciones de su industrialización, reciclaje y/o aprovechamiento energético.

2.- INTRODUCCION

La contaminación de la ciudad de Lima a causa de la incontrolable presencia de la basura doméstica e industrial, es un problema que se viene arrastrando muchos años y que las sucesivas gestiones municipales lo han tenido entre sus planes de trabajo. Sin embargo, hasta ahora no se han considerado

A raíz de la concesión a la empresa privada de los servicios de limpieza y recolección de la basura municipal de la ciudad de Lima, el servicio ha mejorado notoriamente, pero subsiste la demanda intensiva de áreas para la disposición final de la basura en los rellenos sanitarios.

Un aspecto relevante en las últimas administraciones municipales es la falta de recursos económicos para llevar a cabo mayores inversiones en beneficio de la ciudad. El gobierno central ha tomado para sí rentas

que anteriormente eran de la Municipalidad de Lima y esto ha mermado la capacidad financiera de ella.

La presente propuesta de un Sistema de Quema de Residuos Municipales para Generar Energía Eléctrica en la Ciudad de Lima, además de ser una solución técnico-ecológica al problema de la basura, por la reducción de los volúmenes generados aproximadamente al 5% de su volumen inicial, también es una solución económica, pues generaría nuevas rentas a la Municipalidad de Lima.

3.- CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS MUNICIPALES

Los residuos municipales de la Ciudad de Lima poseen un contenido orgánico estimado de entre 40% a 45%, con un poder calorífico aproximado de 6986 KJ/Kg (3000 BTU/lb), a diferencia del mayor poder calorífico que poseen los residuos municipales de los países desarrollados con un aproximado de 12807 KJ/Kg (5500 BTU/lb), por el mayor contenido de desechos plásticos que éstos últimos poseen.

4.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema propuesto para la quema de residuos municipales para generar energía eléctrica en la ciudad de Lima se enmarca dentro del necesario camino del desarrollo sostenible. Es una alternativa de solución a uno de los problemas más críticos de la ciudad.

El sistema contempla la industrialización de parte de la basura municipal a través del reciclaje de vidrios, plásticos y metales, que serán segregados inicialmente por la población con el empleo de bolsas de colores, y luego con una separación en la planta propuesta, previo a la quema de los residuos municipales. Se requiere un enfoque nuevo que conjugue lo moderno con lo útil en el tratamiento de la basura. El "reciclaje" de los desperdicios es una actividad que concilia las necesidades de proteger el medio ambiente y los recursos naturales, con los requerimientos de mayores ingresos municipales.

Este nuevo concepto implica en la población una toma de conciencia y en las empresas

industriales y comerciales la adopción de sistemas de embalaje con materiales reciclables y reusables (papeles, cartones, plásticos reciclables y no tóxicos al incinerar, vidrios y envases de aluminio). El proceso de reciclaje de los desechos sólidos se ve favorecido por la clasificación de la basura que hace la población; por ejemplo bolsas plásticas de color "A" para papeles, cartones y desperdicios orgánicos (residuos de comida); de color "B" para plásticos y vidrios y bolsas de color "C" para aluminio y metales. La adquisición de estas bolsas no representaría un mayor egreso para la población, pues - como se estila en diversos países- éstas serían suministradas en las bodegas, autoservicios y lugares de compra como envoltura de lo adquirido, esto implica articular un compromiso de las empresas comerciales (de autoservicios, etc) con la Municipalidad de Lima, como una manera de contribuir a la protección del medio ambiente. La ubicación de contenedores metálicos municipales en las calles, con compartimentos diferenciados para la clasificación de la basura, es un complemento necesario en el sistema de reciclaje de la basura.

El reciclaje permite en adición a los nuevos ingresos municipales por venta de "scrap", reducir las necesidades de mayores áreas de relleno sanitario. De otro lado, en este reciclaje tendría cabida el hasta hoy incontrolable desperdicio de las industrias, el cual en muchos casos está compuesto por materiales tóxicos y cuya eliminación es preciso regular.

La quema industrial de la basura municipal para generar energía eléctrica, incluye como parte del sistema, la previa segregación y clasificación de los metales (fierro, aluminio, otros), vidrios y plásticos. Los residuos de pilas, baterías y lámparas fluorescentes (dado su componente de mercurio) debieran merecer un tratamiento aparte con un sistema de recolección premiado vía canjes, etc, en lugares especialmente habilitados y con el auspicio de las empresas fabricantes y/o distribuidoras de tales productos; a fin de evitar la peligrosa presencia de ellos en el sistema de quema propuesto.

A esta planta concurrirían todos los desperdicios municipales de la ciudad y también se recibirían los desechos industriales y comerciales no tóxicos, por recepcionar éstos últimos la municipalidad tendría un ingreso complementario, como una renta adicional.

La planta consta de un área de recepción y clasificación de la basura municipal, con una separación previa a la quema. El sistema de quema de residuos propiamente comprende una cámara de combustión, una caldera de recuperación generador de vapor, una turbina de vapor, un generador de energía eléctrica y un sistema de precipitadores electrostáticos y colectores de polvo, así como un sistema de remoción de cenizas.

Los beneficios de una planta de este tipo son los siguientes:

Menor demanda de áreas para rellenos sanitarios. La basura se reduce a cenizas y éstos solo ocupan el 5% del volumen inicial de la basura.

Las cenizas pueden ser estabilizadas con caliza y posteriormente acondicionadas para su uso como abono.

Contribuye a la minimización de los focos de contaminación que a la fecha existen en los rellenos sanitarios.

Mayores ingresos municipales por recepción "in situ" de desechos industriales y comerciales.

Ingresos adicionales por venta de materiales reciclados, de residuos de la combustión utilizados como abono, así como por generación y venta de energía eléctrica a los usuarios de la red pública.

Mejor control del destino de la basura, (actualmente menos del 30 por ciento es recepcionada en los rellenos sanitarios) y esto constituye un atentado contra la salud de la población que no puede soslayarse.

En efecto, con las aproximadamente 4500 toneladas diarias de basura municipal que se genera en la ciudad de Lima, de las que un 40 a 45 por ciento son residuos orgánicos, se podría cubrir una demanda de energía eléctrica de hasta 135 MW, considerando un poder calorífico de la basura de 6986 KJ/Kg. (3000 BTU/lb), a diferencia de los 12807 KJ/Kg.

(5500 BTU/lb) de poder calorífico de la basura en los países industrializados, donde los mayores contenidos de plástico y papel le dan este mayor valor.

En adición a los beneficios mencionados, la venta de energía eléctrica generaría a la Municipalidad de Lima un ingreso de aproximadamente 5 millones de dólares mensuales con el beneficio paralelo de que la administración municipal pueda garantizar un suministro confiable de energía eléctrica las 24 horas del día al sistema del tren eléctrico- en caso que la Municipalidad asuma su operación como correspondiera-, el mismo que requerirá para su operación de 5 MW instalados por cada 20 Km de su trayectoria.

La inversión para una planta de este tipo se estima en el orden de los 200 millones de dólares, con un período de amortización de la inversión para el caso de Lima, no mayor a 6 años.

En la figura N° 1 se presenta el Sistema de Quema de Residuos Municipales para Generar Energía Eléctrica en la Ciudad de Lima, mostrando cada uno de los componentes propuestos para el sistema.

En la Figura N° 2 se muestra el Diagrama de Bloques de la Operación del Sistema Propuesto.

5.- ASPECTOS OPERATIVOS DEL SISTEMA

Dada la baja demanda progresiva de área de terreno que se requiere como consecuencia del tratamiento de quema a la basura, se propone ubicar la planta en las cercanías del actual relleno sanitario de Zapallal, en el distrito de Puente Piedra, previo estudio geotécnico del terreno y luego del necesario Estudio de Impacto Ambiental para lograr la aprobación para su ubicación definitiva.

6.- GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA

En los aproximadamente 4500 toneladas de basura municipal que se genera en Lima, se obtendría una generación de 135 MW, como se ha mencionado en la descripción del

sistema. Los montos de energía que se pueden producir son de aproximadamente 94,5 GWh/mes y que a un precio de venta de 0,053 US\$/KWh, resultaría en un ingreso de aproximadamente 5 millones de dólares mensuales. Este sería un ingreso adicional al que obtendría la Municipalidad por la industrialización de la basura como consecuencia del reciclaje.

Estando la inversión en el rango de los 200 millones de dólares, la inversión específica está en el orden de los 1480 US\$/KW, que por las funciones complementarias que cumple la planta del sistema propuesto (segregación y reciclaje, venta de cenizas estabilizadas como abono), es un valor específico dentro de lo aceptable en el mercado.

Elementos del “Sistema de Quema de Residuos Municipales para Generar Energía Eléctrica en la Ciudad de Lima” (Fig. 1):

1. Grúa – Puente
2. Tolva de Carga de Basura
3. Vehículo de Recolección de Basura Municipal.
4. Gargador Reciprocante de Tres Niveles
5. Fosa de Recepción de Basura Municipal
6. Ventilador de Aire Primario
7. Tolva de Descarga de Cenizas
8. Vehículo para la Evacuación de Cenizas
9. Quemador Auxiliar
10. Colector de Polvo
11. Sistema de Remoción de Partículas
12. Precipitador Electrostático
13. Ventilador de Tiro Inducido
14. Chimenea
15. Economizador
16. Domo de Vapor de la Caldera
17. Caldera
18. Domo de Líquidos de la Caldera
19. Sobrecalentador
20. Pistón Alimentador
21. Ingreso de Aire Forzado
22. Caldera a Petróleo en Stand-By

6.1.- FLUJO DE LA ENERGIA EN EL SISTEMA DE QUEMA DE RESIDUOS MUNICIPALES

- a) Poder calorífico (energía potencial) de los residuos municipales = 6986 KJ/Kg. (3000 BTU/lb)
- b) Considerando que de las 4500 toneladas diarias, luego de la clasificación y separación para el reciclaje, solo llegan al sistema de quema al 78% de los residuos es decir 3510 toneladas/días.

c) Se tendría el siguiente potencial de energía térmica de los residuos :

$$3,51 \times 10^6 \text{ Kg/día} \times 6986 \text{ KJ/Kg} = 24,52 \times 10^9 \text{ KJ/día}$$

O sea 24,52GJ/día (5,86 Gcal/día) como energía térmica potencial de los residuos municipales antes de la quema.

d) Equivalente mecánico del calor :

$$1 \text{ KWh} = 3598.24 \text{ KJ} (860 \text{ Kcal})$$

e) Eficiencias del sistema :

La eficiencia del sistema considera las eficiencias de la caldera, de la turbina y del generador. La eficiencia de un sistema como el propuesto, se ha considerado en un valor de 47,55%

f) Generación de energía eléctrica

Luego de operar en el sistema de quema, la energía térmica potencial de los residuos municipales podrán ser convertidos en energía eléctrica

$$\frac{24,52 \times 10^9 \text{ KJ/día} \times 0,4755}{3598,24 \text{ KJ/KWh}} = 3,24 \times 10^6 \text{ KWh/día}$$

Considerando una operación de 24 horas/día :

$$\frac{3,24 \times 10^6 \text{ KWh/día}}{24 \text{ h/día}} = 135 \times 10^3 \text{ KW} = 135 \text{ MW}$$

6.2.- MONTOS DE GENERACIÓN Y DE VENTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

a) Cálculo de la energía eléctrica producida
135 MW x 700 h/mes = 94,5 GWh/mes

b) Cálculo de los ingresos potenciales por venta de energía eléctrica :

Precio unitario de mercado por venta de energía eléctrica a usuarios: 0,053 US\$/KWh
 $94,5 \times 10^6 \text{ KWh} \times 0,053 \text{ US\$} = 5,00 \times 10^6 \text{ US\$}$
mes KWh mes

Aproximadamente 5 millones de dólares mensuales podría obtener como ingresos la Municipalidad de Lima por la venta directa de energía eléctrica a usuarios.

Los montos de inversión para una planta como la propuesta están en el orden de los 300 millones de US\$, por lo que la inversión específica está en el rango de los 2220 US\$/KW, monto que es razonable para una planta de generación de electricidad integrada (Waste-to-Energy System) con un sistema de reciclaje e industrialización de la basura.

Para la ciudad de Lima los lugares potenciales donde podría ser ubicada esta planta serían la zona de Puente Piedra, cerca al actual relleno sanitario de Zapallal, y como alternativa en la zona de Lurín, camino a Cieneguilla.

7.- MINIMIZACION DE LA POLUCION ATMOSFERICA

Los gases de combustión a la salida de la caldera pasan a través de un precipitador electrostático, en el que las partículas e inquemados sólidos son capturados y precipitados. Un ventilador de tiro inducido recoge los gases limpios y los envía a la chimenea, para su expulsión a la atmósfera.

Opcionalmente se podrían instalar a futuro, equipos de lavado de gases (scrubbers) como complemento al precipitador, a fin de precipitar NOx y SOx.

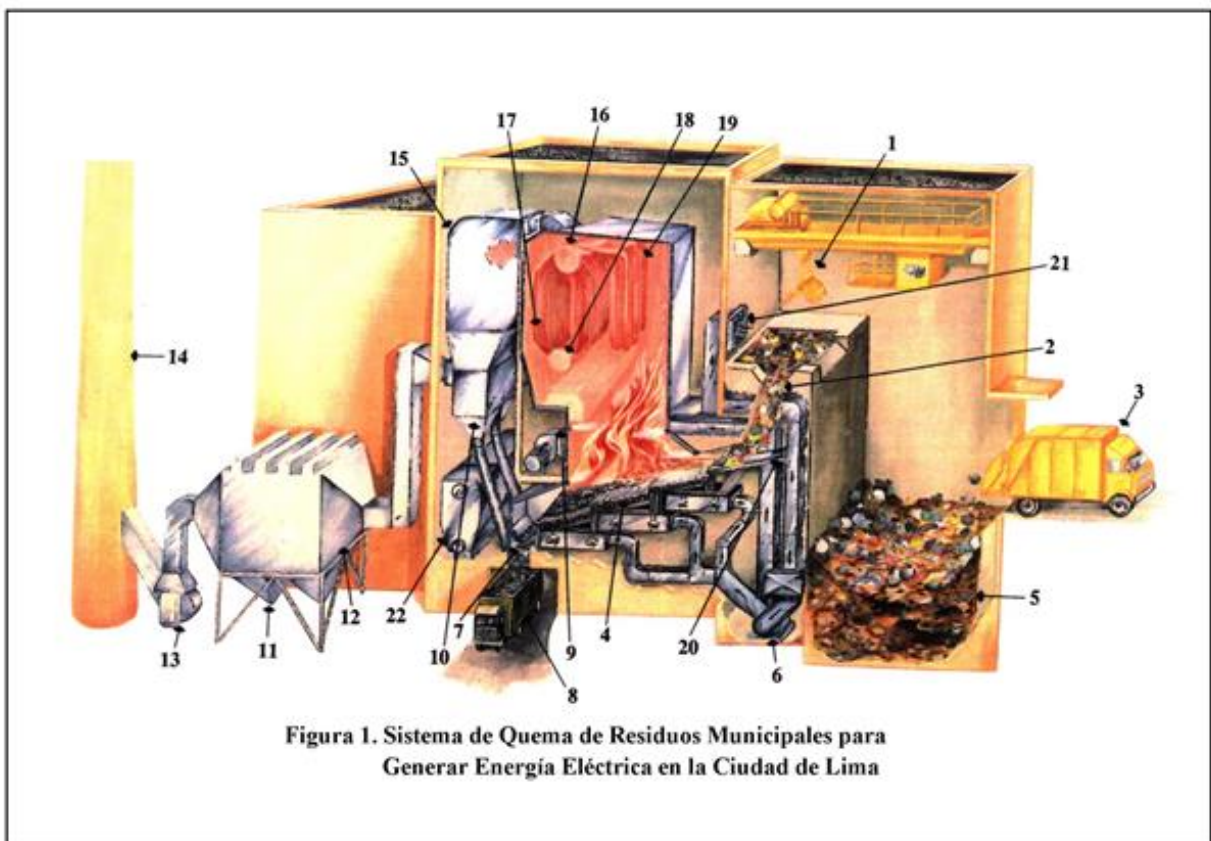


Figura 1. Sistema de Quema de Residuos Municipales para Generar Energía Eléctrica en la Ciudad de Lima

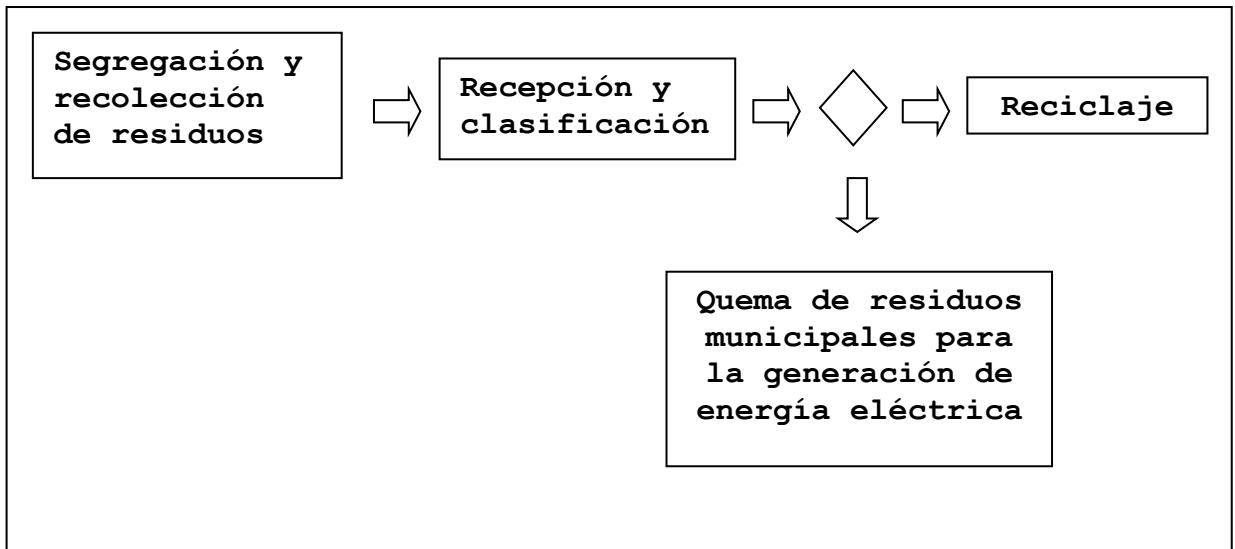


Figura 2. Diagrama de bloques de la operación del sistema propuesto

8. REFERENCIAS

1. ABB, Waste-to-Energy System Catalog, Stockholm, Sweden, 1997.
2. Combustion Engineering Inc., General Catalog, USA, 1998.

