



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**ELIMINACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS URBANOS UTILIZANDO SISTEMAS DE  
INCINERACIÓN PARA EL RELLENO SANITARIO DE LA ZONA 3, CIUDAD GUATEMALA**

**Javier Fernando Juárez Muñoz**

Asesorado por el Ing. Sergio Fernando Pérez Rivera

Guatemala, septiembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELIMINACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS URBANOS UTILIZANDO SISTEMAS DE  
INCINERACIÓN PARA EL RELLENO SANITARIO DE LA ZONA 3, CIUDAD GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JAVIER FERNANDO JUÁREZ MUÑOZ**

ASESORADO POR EL ING. SERGIO FERNANDO PÉREZ RIVERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |                                     |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos    |
| VOCAL I    | Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| VOCAL II   | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  |
| VOCAL III  | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV   | Br. Narda Lucía Pacay Barrientos    |
| VOCAL V    | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz       |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez     |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|             |                                       |
|-------------|---------------------------------------|
| DECANO      | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos      |
| EXAMINADOR  | Ing. Byron Gerardo Chocooj Barrientos |
| EXAMINADORA | Inga. Miriam Patricia Rubio Contreras |
| EXAMINADOR  | Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel   |
| SECRETARIO  | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez       |

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ELIMINACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS URBANOS UTILIZANDO SISTEMAS DE INCINERACIÓN PARA EL RELLENO SANITARIO DE LA ZONA 3, CIUDAD GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 15 de febrero del 2013.



**Javier Fernando Juárez Muñoz**

Guatemala, 25 de septiembre del 2013

Ingeniero  
Cesar Ernesto Urquizú Rodas  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero,

Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el trabajo de graduación del estudiante universitario Javier Fernando Juárez Muñoz con numero de carnet 200516295 titulado: **ELIMINACIÓN DE DESECHOS SOLIDOS URBANOS UTILIZANDO SISTEMAS DE INCINERACIÓN PARA EL RELLENO SANITARIO DE LA ZONA 3, CIUDAD GUATEMALA.**, por tal motivo y para lo que al interesado le convenga extendiendo la presente para que se continúe con los tramites respectivos.

Atentamente,

  
Sergio Fernando Pérez Rivera  
Ingeniero Industrial  
Colegiado No. 1551

Sergio Fernando Pérez Rivera  
Ingeniero Industrial  
Colegiado No. 1551



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **ELIMINACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS URBANOS UTILIZANDO SISTEMAS DE INCINERACIÓN PARA EL RELLENO SANITARIO DE LA ZONA 3, CIUDAD GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Javier Fernando Juárez Muñoz**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

*César Akú Castillo MSc.*  
INGENIERO INDUSTRIAL  
COLEGIADO No. 4,073

Ing. César Augusto Akú Castillo  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, marzo de 2014.

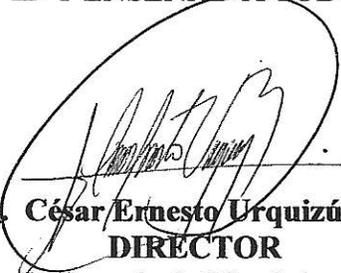
/mgp



REF.DIR.EMI.151.014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **ELIMINACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS URBANOS UTILIZANDO SISTEMAS DE INCINERACIÓN PARA EL RELLENO SANITARIO DE LA ZONA 3, CIUDAD GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Javier Fernando Juárez Muñoz**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



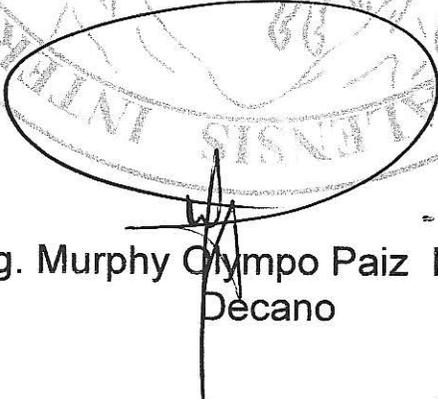
Guatemala, agosto de 2014.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial al trabajo de graduación titulado: **ELIMINACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS URBANOS UTILIZANDO SISTEMAS DE INCINERACIÓN PARA EL RELLENO SANITARIO DE LA ZONA 3, CIUDAD GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Javier Fernando Juárez Muños**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, septiembre de 2014



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por haberme bendecido con todos estos años de vida y poder realizar mis estudios.
- Mis padres** Fernando Juárez y Elsa Muñoz, brindarme los medios para realizar mis estudios, por darme siempre su apoyo en todo momento, por estar en esos momentos cuando más los necesitaba, por sus consejos y confianza depositada en mí.
- Mis amigos** Por todos esos momentos que pasamos juntos a lo largo de la carrera, por su amistad y por su apoyo que me brindaron.
- Mi novia** Evelyn Bran, por brindarme su apoyo, su confianza y su amor.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

|  |   |
|--|---|
| <b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b> | Por haber sido mi casa de estudios, por haberme dejado realizar mi formación profesional e integral.      |
| <b>Facultad de Ingeniería</b>                    | Por abrirme las puertas y dejar que desarrolle mi formación académica.                                    |
| <b>La Municipalidad de Guatemala</b>             | Por brindarme su apoyo para poder realizar mi trabajo de graduación.                                      |
| <b>Mi asesor</b>                                 | Ing. Sergio Pérez, quien me brindó su apoyo y conocimientos para poder realizar mi trabajo de graduación. |

## ÍNDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....  | VII  |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....   | IX   |
| GLOSARIO .....  | XI   |
| RESUMEN.....  | XIII |
| OBJETIVOS.....  | XV   |
| INTRODUCCIÓN .....  | XVII |
| <br>  |      |
| 1. ANTECEDENTES GENERALES .....   | 1    |
| 1.1. Reseña histórica de la Municipalidad de Guatemala .....                    | 1    |
| 1.1.1. Ubicación .....  | 4    |
| 1.1.2. Organización.....  | 4    |
| 1.1.2.1. Misión .....   | 5    |
| 1.1.2.2. Visión .....   | 5    |
| 1.1.2.3. Valores.....   | 5    |
| 1.1.2.4. Organigrama .....  | 5    |
| 1.1.3. Dirección de Medio Ambiente .....  | 6    |
| 1.1.3.1. Ubicación .....  | 7    |
| 1.1.3.2. Descripción .....  | 7    |
| 1.1.3.3. Organigrama .....  | 7    |
| 1.1.4. Contexto político en su incidencia sobre la<br>protección ambiental..... | 8    |
| <br>  |      |
| 2. SITUACIÓN ACTUAL DEL RELLENO SANITARIO DE LA ZONA 3.....                     | 11   |
| 2.1. Relleno sanitario .....  | 11   |
| 2.1.1. Tipos de rellenos .....  | 12   |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 2.1.2. | Clasificación de los rellenos sanitarios .....   | 15 |
| 2.1.3. | Criterios ambientales en rellenos sanitarios .....   | 17 |
| 2.2.   | Descripción del basurero.....  | 18 |
| 2.2.1. | Ubicación del basurero.....  | 18 |
| 2.2.2. | Área del basurero .....  | 19 |
| 2.2.3. | Área disponible.....   | 19 |
| 2.3.   | Crecimiento, desarrollo y generación de desechos sólidos<br>urbanos .....                        | 20 |
| 2.3.1. | Crecimiento demográfico.....   | 21 |
| 2.3.2. | Generación de desechos sólidos urbanos en el<br>área Metropolitana.....                          | 21 |
| 2.3.3. | Escasa responsabilidad ambiental de la población,<br>sectores económicos e institucionales ..... | 23 |
| 2.3.4. | Aspectos sociales y actividades informales en el<br>relleno sanitario .....                      | 26 |
| 2.3.5. | Aspectos técnicos y costos del relleno sanitario<br>de la zona 3.....                            | 27 |
| 2.3.6. | Composición de los desechos sólidos.....   | 30 |
| 2.3.7. | Evaluación del relleno sanitario de la zona 3 .....  | 31 |
| 2.4.   | Recolección de los desechos sólidos urbanos .....  | 33 |
| 2.5.   | Basureros clandestinos .....   | 35 |
| 2.6.   | Impacto del relleno sanitario y costos no contabilizados.....                                    | 37 |
| 2.6.1. | Lixiviados.....  | 37 |
| 2.6.2. | Gas metano .....   | 38 |
| 2.6.3. | Enfermedades .....   | 39 |
| 2.7.   | Costos y presupuesto municipal.....  | 39 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 3.       | ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS URBANOS.....                                     | 41 |
| 3.1.     | Reciclaje .....   | 41 |
| 3.1.1.   | Reciclaje de desechos orgánicos .....   | 41 |
| 3.1.2.   | Reciclaje de papel y cartón.....  | 44 |
| 3.1.3.   | Reciclaje de metal.....   | 46 |
| 3.1.3.1. | Proceso del reciclado.....  | 47 |
| 3.1.4.   | Reciclaje de vidrio.....  | 49 |
| 3.1.5.   | Reciclaje de plástico .....   | 50 |
| 3.2.     | Procesos mecánicos biológicos para el reciclaje.....  | 52 |
| 3.2.1.   | Explicación del tratamiento mecánico biológico de residuos sólidos .....                              | 53 |
| 3.2.1.1. | Aspectos negativos de un tratamiento mecánico biológico para la eliminación de desechos sólidos ..... | 54 |
| 3.3.     | Procesos térmicos para reciclaje.....   | 56 |
| 3.3.1.   | Tecnologías de incineración .....   | 56 |
| 3.3.2.   | Etapas de la incineración de desechos sólidos .....   | 59 |
| 3.3.3.   | Tecnologías para el tratamiento de gases .....  | 61 |
| 3.3.4.   | Análisis de costos .....  | 65 |
| 3.3.5.   | Beneficios producidos.....  | 66 |
| 3.3.5.1. | Económicos .....  | 67 |
| 3.3.5.2. | Sociales .....  | 67 |
| 3.3.5.3. | Laborales.....  | 68 |
| 3.4.     | Explotación para actividades de reciclaje en el relleno sanitario.....                                | 68 |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| 4.         | IMPLEMENTACIÓN DE ELIMINACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DE MANERA INCINERADA..... | 69 |
| 4.1.       | Criterios de selección .....  | 69 |
| 4.2.       | Tecnologías.....  | 69 |
| 4.3.       | Selección de tecnologías .....  | 69 |
| 4.3.1.     | Proyección de la demanda .....  | 75 |
| 4.4.       | Diagrama de operación de incineración .....                                 | 77 |
| 4.5.       | Protocolo de aceptación de los desechos sólidos para ser incinerados .....  | 80 |
| 4.5.1.     | Control, admisión y pesaje .....  | 80 |
| 4.6.       | Etapas de recolección y clasificación .....                                 | 83 |
| 4.6.1.     | Sistemas de recolección de desechos sólidos urbanos .....                   | 83 |
| 4.6.2.     | Clasificación del material incinerable.....                                 | 84 |
| 4.7.       | Etapas de incineración.....   | 87 |
| 4.7.1.     | Alimentación de residuos .....  | 87 |
| 4.7.1.1.   | Área de descarga .....  | 87 |
| 4.7.1.2.   | Trituración de los desechos sólidos urbanos .....                           | 88 |
| 4.7.1.3.   | Sistema de alimentación de desechos sólidos .....                           | 88 |
| 4.7.1.4.   | Sistemas de horno incinerador .....   | 89 |
| 4.7.1.4.1. | Sistemas estándares.....  | 89 |
| 4.8.       | Disposición final de los residuos de incineración .....                     | 91 |
| 4.8.1.     | Extracción automática de residuos.....                                      | 91 |
| 4.8.1.1.   | Tratamiento de cenizas .....  | 92 |
| 4.8.1.2.   | Tratamiento de escorias .....   | 92 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 5.       | SEGUIMIENTO .....   | 97  |
| 5.1.     | Seguridad e higiene industrial.....   | 97  |
| 5.1.1.   | Equipo de protección .....  | 98  |
| 5.1.2.   | Señalización .....  | 99  |
| 5.1.3.   | Normas de seguridad.....  | 109 |
| 5.2.     | Zonas de exclusión para rellenos sanitarios o lugares para<br>disposición final de los residuos urbanos ..... | 111 |
| 5.3.     | Duración del programa y funcionamiento .....  | 113 |
| 5.4.     | Monitoreo y control .....   | 113 |
| 5.4.1.   | Monitoreo de los desechos sólidos urbanos a<br>ser incinerados .....  | 113 |
| 5.4.2.   | Control para el manejo de desechos sólidos<br>urbanos personal operativo .....                                | 115 |
| 5.4.3.   | Control de emisiones .....  | 116 |
| 5.4.3.1. | Evaluación de emisiones admisibles ...  | 117 |
| 5.4.3.2. | Frecuencia de monitoreo .....   | 119 |
| 5.4.4.   | Control en la incineración .....  | 120 |
| 5.4.4.1. | Cámara de combustión y la<br>alimentación.....  | 121 |
| 5.4.4.2. | Mantenimiento .....   | 122 |
| 5.5.     | Resultado de análisis de la investigación .....   | 124 |
|          | CONCLUSIONES .....  | 127 |
|          | RECOMENDACIONES.....  | 129 |
|          | BIBLIOGRAFÍA.....   | 131 |
|          | APÉNDICE.....   | 135 |



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Organigrama de la Municipalidad de Guatemala .....                   | 6  |
| 2.  | Método de trinchera o de zanja.....                                  | 14 |
| 3.  | Método de área.....  | 15 |
| 4.  | Ubicación del relleno sanitario, zona 3 .....                        | 19 |
| 5.  | Vista área del relleno sanitario, zona 3, Guatemala.....             | 20 |
| 6.  | Generación de desechos sólidos .....                                 | 23 |
| 7.  | Almacenamiento de materiales reciclados.....                         | 25 |
| 8.  | Descarga de camiones de volteo.....                                  | 28 |
| 9.  | Descarga manual.....   | 28 |
| 10. | Extremo norte, relleno sanitario, zona 3 .....                       | 29 |
| 11. | Costos asociados por generación de desechos sólidos .....            | 30 |
| 12. | Localización de relleno sanitario de Villa Nueva .....               | 34 |
| 13. | Reducción del número de basureros clandestinos .....                 | 36 |
| 14. | Compost.....   | 43 |
| 15. | Maquinaria para realización de papel .....                           | 46 |
| 16. | Tratamiento mecánico biológico de residuos sólidos .....             | 53 |
| 17. | Eliminación de desechos sólidos de forma controlada .....            | 55 |
| 18. | Ventajas y desventajas de las tecnologías de tratamiento de gases .. | 62 |
| 19. | Esquema de análisis de sistemas de emisiones.....                    | 73 |
| 20. | Crecimiento de desechos sólidos con línea de tendencia .....         | 75 |
| 21. | Crecimiento de la población del departamento de Guatemala.....       | 76 |
| 22. | Crecimiento de desechos sólidos para los próximos años .....         | 76 |
| 23. | Diagrama de operación de planta incineradora .....                   | 78 |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 24. | Pulpo mecánico para la alimentación de los hornos.....   | 81  |
| 25. | Equipo de trituración de desechos sólidos .....  | 82  |
| 26. | Recolección de desechos sólidos.....   | 83  |
| 27. | Tromel utilizado para clasificar tamaño de escorias .....  | 94  |
| 28. | Criba utilizada en el proceso de separación de materiales férricos y<br>no férricos.....               | 96  |
| 29. | Equipo de protección personal .....  | 99  |
| 30. | Señalizaciones para salidas de emergencia.....   | 101 |
| 31. | Flechas para indicar ruta de evacuación .....  | 102 |
| 32. | Señalizaciones para indicar rutas de evacuación con escaleras.....                                     | 103 |
| 33. | Señalizaciones de puntos de reunión y salida de emergencia para<br>personas discapacitadas .....       | 104 |
| 34. | Señalizaciones para indicar el uso obligatorio de equipo de<br>protección en cabeza, manos y pies..... | 105 |
| 35. | Señalizaciones para indicar el uso obligatorio de equipo de<br>protección en cuerpo y cara .....       | 106 |
| 36. | Señalizaciones para equipo contra incendios.....   | 107 |
| 37. | Señalizaciones para indicar precaución y prevención .....  | 108 |

## TABLAS

|      |   |     |
|------|---|-----|
| I.   | Ventajas y desventajas de hornos incineradores .....                    | 70  |
| II.  | Crecimiento de desechos sólidos .....                                   | 74  |
| III. | Crecimiento de desechos sólidos esperado para los próximos<br>años..... | 77  |
| IV.  | Emisiones admisibles por metro cúbico incinerado .....                  | 118 |
| V.   | Emisiones permisibles para metales pesados.....                         | 119 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

| <b>Símbolo</b> | <b>Significado</b>          |
|----------------|-----------------------------|
| °C             | Grados Celsius              |
| cm             | Centímetro                  |
| kcal/kg        | Kilo-calorías por kilogramo |
| km             | Kilometro                   |
| m              | Metro                       |
| mg             | Miligramo                   |
| mm             | Milímetro                   |



## GLOSARIO

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Biogás</b>                | Fluido aeriforme de origen biológico que se produce por la descomposición de materias orgánicas biodegradables.  |
| <b>Biodegradable</b>         | Susceptible a pudrirse o descomponerse como materia orgánica.  |
| <b>Compost</b>               | Producto negro ligero, con un 15 por ciento máximo de humedad, sin restos y por lo general de forma granulada y fina. Es también un producto húmico y cálcico, fertilizante y oxigenador de suelos.                        |
| <b>Contaminación gaseosa</b> | Está constituida principalmente por hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno, de azufre, ácidos, peróxidos, anhídrido sulfuroso y cloruro y bromuro de plomo, provenientes de los antidetonantes (como automóviles). |
| <b>Desecho sólido</b>        | Todo aquel cuerpo firme no útil después de una actividad o proceso humano. También llamado residuo sólido.   |
| <b>Escoria</b>               | Sustancia de desecho que contiene las impurezas de los metales cuando se funden.   |

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Gas metano</b>   | Se produce en los pantanos y por la putrefacción de las materias orgánica biodegradables. En el caso de los tiraderos al aire libre, es una de las causas por las que siempre están en combustión.  |
| <b>Incineración</b> | Es el proceso de secado y quemado técnico de la basura en el horno incinerador.   |
| <b>Inorgánico</b>   | Son los residuos que permanecen en su estado y forma por largo tiempo.  |
| <b>Lixiviado</b>    | Son los líquidos que al fermentarse la basura orgánica biodegradable se depositan en las partes inferiores. Cuando los residuos orgánicos biodegradables pierden líquido éste se va escurriendo y expulsa todos los solubles contenidos en ellos. |
| <b>Pirolisis</b>    | Separación de una sustancia en otras más sencillas, lograda mediante calor.   |

## RESUMEN

El presente trabajo de graduación tuvo por finalidad desarrollar un sistema de eliminación de los desechos sólidos urbanos en el relleno sanitario de la zona 3, ciudad de Guatemala, con un método de incineración para lograr más tiempo de vida útil del mismo a través de un estudio de investigación.

Para la realización de este estudio se investigó la situación actual del relleno sanitario, lo cual se refiere a la cantidad de desechos sólidos urbanos que llegan día a día al relleno, costos de operación, reciclaje, clasificación de los desechos sólidos. De los cuales se determinó que el 80 % de los desechos es reciclable y biodegradable, lo cual deja en evidencia la poca actividad de reciclaje que se lleva a cabo en la ciudad a través de las municipalidades y de los ciudadanos.

Se logró determinar, que un sistema de eliminación por incineración para los desechos sólidos urbanos es una solución rápida para los problemas del exceso de acumulación de estos desechos en el relleno sanitario, pero si no se cuenta con los controles adecuados, este tipo de eliminación puede afectar mucho al medio ambiente de la ciudad de Guatemala.

Sería de gran importancia que la Municipalidad de Guatemala incentivará y creará métodos de reciclaje, comenzando desde la clasificación de los materiales por parte de los generadores hasta su disposición final ayudando a que la cantidad de desechos a incinerar sea menos, se aproveche más el reciclaje como una fuente alterna tanto ecológica como económica para la ciudad.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Proponer la alternativa de eliminación de los desechos sólidos urbanos utilizando sistemas de incineración para relleno sanitario de la zona 3 de la ciudad de Guatemala, para una mejor disposición final y reducción de los desechos.

### **Específicos**

1. Identificar y clasificar los desechos sólidos urbanos en el relleno sanitario de la zona 3 capitalina, como una forma para mejorar la gestión de los residuos.
2. Evaluar alternativas para el manejo y control adecuado de los desechos sólidos urbanos para minimizar el impacto ambiental.
3. Determinar cuáles son los costos asociados a las distintas alternativas tecnológicas de incineración de desechos sólidos urbanos.
4. Establecer procedimientos adecuados para la clasificación, incineración de los desechos sólidos urbanos.
5. Determinar la valorización energética producida por la incineración así como la también la utilización energética.



## INTRODUCCIÓN

Mientras en la mayor parte de los países de América Latina las tasas de crecimiento de población se han estabilizado, Guatemala y los demás países de Centroamérica enfrentan el período de mayor crecimiento de población, así como a la vez su crecimiento urbano y el desarrollo económico de la ciudad de Guatemala dando como resultado, un crecimiento en la generación de desechos sólidos, el cual incide directamente en la calidad ambiental de una ciudad y sus habitantes.

En la ciudad de Guatemala, se concentra el desarrollo de la mayor parte de la actividad económica y productiva del país por lo cual se torna en un núcleo de atracción para los guatemaltecos de las áreas rurales lo que genera migración, crecimiento demográfico y expansión urbana lo cual ha provocado rebasar los límites del municipio de Guatemala que provoca una serie de problemas y entre estos está el incremento de la generación de residuos sólidos.

Los residuos generados en los municipios de que conforman el Área Metropolitana de Guatemala (Mixco, Villa Nueva, Villa Canales, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pínula, San José Pínula, Chinautla y Fraijanes), tienen como destino final, el Vertedero de la zona 3 lo cual ha llevado a la saturación de este.

Con este trabajo de investigación se pretende ofrecer una visión clara del manejo actual de los residuos sólidos que son desechados en el vertedero de la zona 3 de la ciudad de Guatemala. Además de desarrollar la propuesta viable para la implementación de un sistema de eliminación y gestión de los desechos sólidos que proteja al medio ambiente.

# **1. ANTECEDENTES GENERALES**

## **1.1. Reseña histórica de la Municipalidad de Guatemala**

En el siglo XIX se dio la conservación intacta de las características coloniales como centro de poder político y administrativo en un espacio arquitectónico, que a nivel de arquitectura doméstica quiso reconstruir la nueva ciudad fiel a anteriores asentamientos.

La elite tradicional no tuvo interés en desarrollar actividades económicas más dinámicas, la inestabilidad política y las guerras afectaron el crecimiento y desarrollo de la infraestructura, y no fue sino hasta finales del siglo cuando las ideas liberales en el gobierno introdujeron en ciudad de Guatemala drenajes subterráneos y se crearon alamedas y peajes públicos, el crecimiento urbano fue un reflejo de la pujante economía agroindustrial.

A partir del siglo XX en 1921 la tendencia de las clases altas fue moverse hacia el sur de la ciudad, iniciándose con esto la degradación del centro histórico; el crecimiento de las exportaciones de café, algodón y caña de azúcar.

La industria y los servicios crearon concentraciones poblacionales en la ciudad, en el municipio y en los municipios periféricos que habían manifestado crecimiento demográfico luego del terremoto de 1917.

La inestabilidad política incidió en el deterioro del ambiente y de los recursos naturales de la ciudad por la carencia de políticas y estrategias de desarrollo.

En tanto la ciudad de Guatemala, zonificada desde 1917 en 22 zonas geográficas se ha ido extendiendo a los siete municipios más cercanos y no existe precisa definición de sus límites ni del área Metropolitana guatemalteca.

La organización del Gobierno Municipal está estipulada en el artículo 254 de la Constitución Política de la República. El mandato es ejercido por un Concejo Municipal, el cual está formado por el alcalde, quien lo preside, tres síndicos, un secretario general y 10 concejales.

Todos ellos electos mediante sufragio universal directo, para un período de cuatro años. El alcalde es el responsable de llevar a cabo y evaluar las políticas, planes, programas y proyectos autorizados por el concejo municipal.

La autonomía municipal surge con rango constitucional el 11 de marzo de 1945 según el artículo 201 y se desarrolla en el Decreto 226 del Congreso de la República, en la “Ley de Municipalidades” el cual entró en vigencia el 13 de abril de 1946.

El 11 de marzo de 1956 se modifica mediante el Decreto 1,138 el mandato constitucional y surge el nuevo Código Municipal, vigente desde el 2 de julio de 1954. El 23 de marzo de 1982, mediante la instauración de un régimen de facto, se interrumpe la autonomía municipal mediante el Decreto de Ley 24-82 en el que se facultaba al jefe de Estado a nombrar a los alcaldes y vicealcaldes.

El 14 de enero de 1986 se restaura el régimen jurídico constitucional que promulga en su artículo 253 la autonomía municipal y mediante el Decreto 58-88 del Congreso de la República un nuevo Código Municipal vigente a partir del 20 de octubre de 1988.

El Congreso de la República mediante el Decreto 18-93 emite reformas constitucionales aprobadas mediante “consulta popular” modificando el artículo 254 en que se cambia:

- La denominación de Corporación Municipal por la de Consejo Municipal conformado por el alcalde, los síndicos y los concejales.
- Se elimina la clasificación por categoría municipal.
- Se incrementa a 10 % del presupuesto nacional el aporte a las municipalidades.

El 4 de junio del 2002 se modifica nuevamente el Código Municipal entrando en vigencia el 1 de julio del 2002 mediante el Decreto 12-2002, en el que se establece que “ninguna ley podrá contrariar, disminuir o tergiversar la autonomía municipal”.

Ante el grave problema nacional de la centralización, se ha transferido desde el Organismo Ejecutivo a las municipalidades y demás instituciones del Estado, a las comunidades organizadas legalmente, con participación de las municipalidades, el poder de decisión sobre las funciones y recursos de financiamiento para la aplicación de políticas públicas.

A través de la puesta en marcha de políticas públicas municipales y locales con el fin de tener la más extensa participación de los ciudadanos en la

administración pública, determinación de la importancia de la ejecución de proyectos, el control y uso de los recursos del Estado.

De acuerdo con el Código Municipal, el municipio está conformado por los siguientes elementos básicos:

- Población
- El territorio
- La autoridad ejercida en representación de los habitantes, tanto por el concejo municipal como por las autoridades tradicionales propias de las comunidades de su circunscripción.
- La comunidad organizada
- La capacidad económica
- El ordenamiento jurídico municipal y el derecho consuetudinario del lugar.
- El patrimonio del municipio

#### **1.1.1. Ubicación**

El Palacio Municipal de la ciudad de Guatemala se encuentra ubicado en la 21 calle 6-77 de la zona 1, Centro Cívico. La Municipalidad de Guatemala cuenta con varias minimunis para la atención y ayuda de la población capitalina distribuidas en diversas zonas, pero la más importante es el Palacio Municipal.

#### **1.1.2. Organización**

La organización de la Municipalidad de Guatemala está bien estructurada y detallada todo esto a través de su organigrama, misión y visión que se detallan a continuación.

#### **1.1.2.1. Misión**

“La misión de la Municipalidad de Guatemala es dar a todos los vecinos los servicios que necesitan.”

#### **1.1.2.2. Visión**

La visión de la Municipalidad de Guatemala es crear una "Ciudad para Vivir".

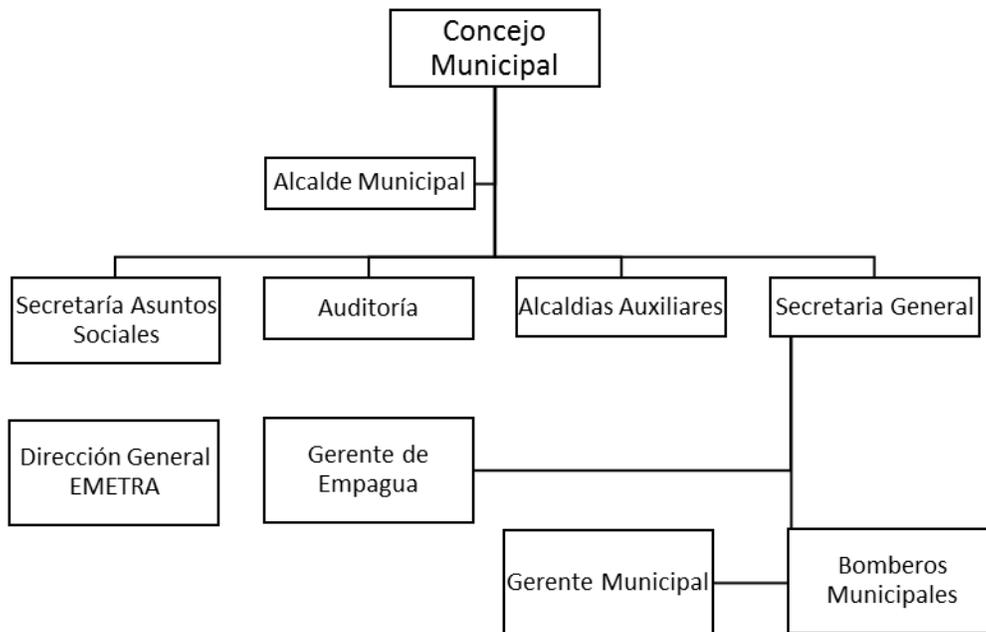
#### **1.1.2.3. Valores**

El centro de la administración municipal es la persona y su objetivo principal es lograr que las personas tengan una vida de calidad.

#### **1.1.2.4. Organigrama**

A continuación se presenta el organigrama donde se muestra como están todas las áreas con que está compuesta la Municipalidad de la ciudad de Guatemala.

Figura 1. **Organigrama de la Municipalidad de Guatemala**



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

### 1.1.3. **Dirección de Medio Ambiente**

Es la encargada de velar por las áreas verdes de la ciudad capital, cuidado, mantenimiento, creación de nuevas áreas verdes así como de implementar medidas para la reducción de la contaminación en la ciudad.

### **1.1.3.1. Ubicación**

Las oficinas de la Dirección de Medio Ambiente se encuentran ubicadas en el 3er. nivel del Palacio Municipal de la ciudad de Guatemala que se encuentra ubicado en la 21 calle 6-77 de la zona 1, Centro Cívico.

### **1.1.3.2. Descripción**

La Dirección de Medio Ambiente es la encargada de proteger y velar por el medio ambiente de la ciudad de Guatemala.

Entre sus diversas tareas y responsabilidades que tienen son: limpieza general, mantenimiento de parques, fumigación, resiembra de plantas, fabricación e instalación de baranda en las áreas jardinizadas, colocación de malla en áreas verdes y parques.

Es la encargada de realizar planificación y diseño, proyectos, propuestas y diseños de áreas verdes, poda o tala de árboles.

### **1.1.3.3. Organigrama**

La Dirección de Medio Ambiente está compuesta de diversas secciones y estas son:

- Dirección de Medio Ambiente
  - Colisiones por daños a la propiedad municipal
  - Herrería
  - Jardinización
  - Mantenimiento de parques
  - Planificación y diseño en áreas verdes

- Tala o poda de árboles

#### **1.1.4. Contexto político en su incidencia sobre la protección ambiental**

En 1986 llega al poder Marco Vinicio Cerezo Arévalo del Partido Democracia Cristiana Guatemalteca como primer gobierno civil. Durante ese período se destacan las cumbres de Esquipulas para impulsar el proceso de paz en la región centroamericana.

Este proceso culmina en el período de gobierno del presidente Álvaro Arzú en 1996 con la Firma de la paz. En temas de medio ambiente que destacaron fueron la creación de la Ley de Áreas Protegidas con Decreto 4-89, la creación de la Reserva de la Biosfera Maya, la Reserva de la Sierra de las Minas y el apoyo a las mipymes.

En 1996 Álvaro Arzú inicia su período presidencial, el cual se destaca por varios eventos, después de pláticas y tratados, finalmente se le puso fin al conflicto armado interno, con la Firma de la Paz, Firme y Duradera, el 29 de diciembre de ese año culminó así 36 años de lucha que dejó pérdidas humanas, infraestructura y una sociedad fragmentada.

En materia de ambiente el Congreso de la República declara por emergencia nacional el Decreto 129-96 Ley del Área Protegida Reserva Ecológica Protectora de Manantiales del Cerro San Gil. El 22 de abril de 1996 en el Día de la Tierra declara públicamente el entorno natural de la ciudad de Guatemala como Patrimonio de la Humanidad.

En el 2000 fue electo Alfonso Portillo Cabrera en cuyo gobierno se destaca la instalación del Ministerio de Ambiente y Recursos naturales (MARN).

En el 2004 Oscar Berger asume la presidencia. Durante este gobierno, el Congreso de la República emitió el 12 de febrero de 2005 la Ley del Área Protegida Zona de Usos Múltiples de río Sarstún según Decreto 12-2005.

Al final del período el Ejecutivo derogó el decreto gubernativo que prohibía el transporte nocturno. También el Ministerio de Ambiente emitió la Política de Género y el Reglamento de Descargas y Reusó de Aguas Residuales y Disposición de Lodos.

Actualmente Guatemala que aun consolida la democracia afronta grandes retos sociopolíticos, económicos y ambientales.



## **2. SITUACIÓN ACTUAL DEL RELLENO SANITARIO DE LA ZONA 3**

### **2.1. Relleno sanitario**

Un relleno sanitario es una técnica para la disposición de residuos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública, este método que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo menor posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, para cubrir los residuos así depositados con una capa de tierra apelmazada con la frecuencia necesaria, por lo menos al final de cada jornada.

El relleno sanitario tiene que estar bien diseñado para tratar con los lixiviados para que estos no tengan contacto con el suelo y no puedan crear contaminación.

El relleno sanitario es un sistema de tratamiento y, a la vez disposición final de residuos sólidos en donde se establecen condiciones para que la actividad microbiana sea de tipo anaeróbico (ausencia de oxígeno). Este tipo de método es el más recomendado para realizar la disposición final en países como el nuestro.

Requerimientos generales de los rellenos sanitarios:

- El sitio debe tener espacio necesario para almacenar los residuos generados por el área en el plazo definido por el diseño.

- El sitio es diseñado, localizado y propuesto para ser operado de forma que la salud, las condiciones ambientales y el bienestar sea garantizado.
- El sitio es localizado de manera de minimizar la incompatibilidad con las características de los alrededores y de minimizar el efecto en los avalúos de estos terrenos.
- El plan de operación del sitio se diseña para minimizar el riesgo de fuego, malos olores, derrames y otros accidentes operacionales en los alrededores.
- El diseño del plan de acceso al sitio se debe hacer de forma de minimizar el impacto en los flujos.

### **2.1.1. Tipos de rellenos**

El parámetro básico de diseño de un relleno es el volumen. Este depende del área cubierta, la profundidad a la cual los residuos son depositados, y el radio de material de cobertura y residuo. Generalmente todo diseño de relleno incluye algunas obras comunes. Zonas *buffer* y pantallas perimetrales son necesarias para aislar el relleno de los vecinos, invasores y el sitio.

Entre los tipos de rellenos sanitarios están:

- Método de trinchera o de zanja:

Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos a tres metros de profundidad, con el apoyo de una retroexcavadora o tractor de oruga. La tierra se extrae y se coloca a un lado

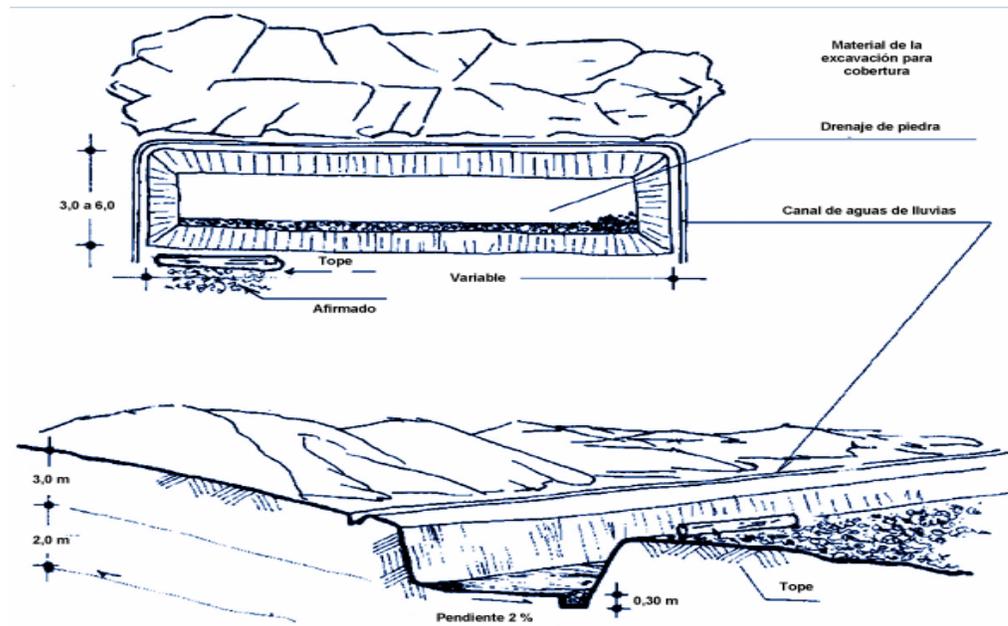
de la zanja para utilizarla como material de cobertura. Los desechos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con tierra.

Se deben construir drenajes o canales perimetrales y drenajes internos para captar los lixiviados y evitar que estos lleguen a la tierra. Estos canales y drenajes también ayudaran en la época de lluvia para desviar el agua.

Se debe de preparar bien el terreno con una impermeabilización con una membrana de polietileno de alta densidad para evitar la filtración de lixiviados hacia el subsuelo.

La excavación de zanjas exige condiciones favorables tanto en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como al tipo de suelo. Los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie no son apropiados por el riesgo de contaminar al acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación.

Figura 2. Método de trinchera o de zanja



Fuente: *Métodos de construcción de un relleno sanitario.*

[http://www.bvsde.paho.org/curso\\_rsm/e/unidad3.html](http://www.bvsde.paho.org/curso_rsm/e/unidad3.html). Consulta: marzo del 2013.

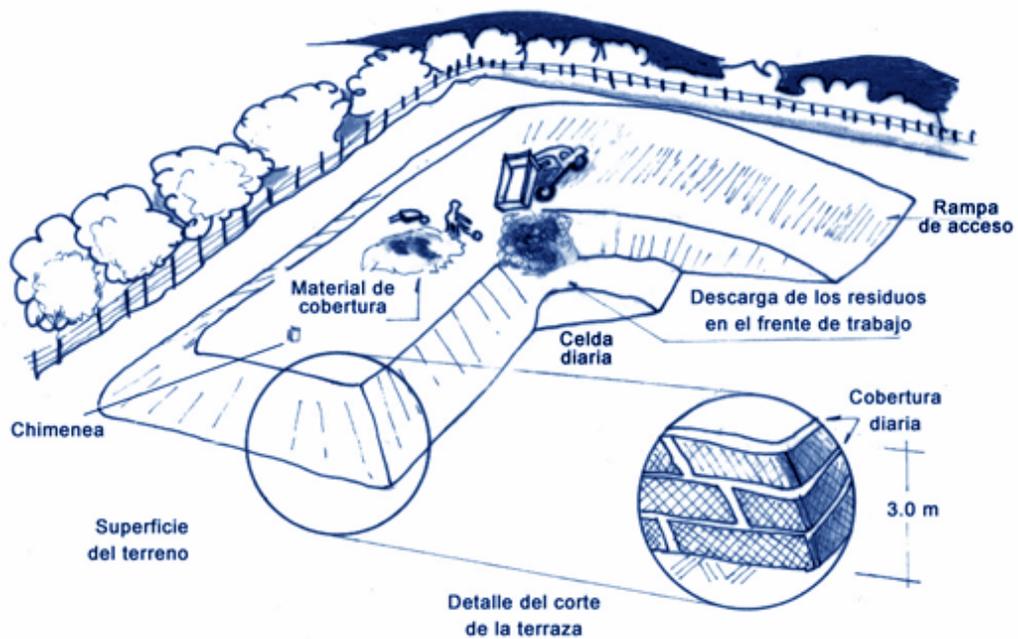
- Método de área:

En áreas relativamente planas, donde no sea posible excavar fosas o trincheras para enterrar las basuras, estas pueden depositarse directamente sobre el suelo original, elevando el nivel algunos metros. En estos casos, el material de cobertura deberá ser importado de otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial.

Las fosas se construyen con una pendiente suave en el talud para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno.

Como en el método anterior se deben construir drenajes perimetrales y drenajes internos para la recolección de material lixiviado.

Figura 3. **Método de área**



Fuente: *Métodos de construcción de un relleno sanitario.*

[http://www.bvsde.paho.org/cursos\\_rsm/e/unidad3.html](http://www.bvsde.paho.org/cursos_rsm/e/unidad3.html). Consulta: marzo del 2013.

### 2.1.2. **Clasificación de los rellenos sanitarios**

Clasificación según clase de residuos depositados:

- Tradicional con residuos sólidos urbanos seleccionados: no acepta ningún tipo de residuo de origen industrial, ni tampoco lodos.

- Tradicional con residuos sólidos urbanos no seleccionados: acepta además de los residuos típicos urbanos, industriales no peligrosos y lodos previamente acondicionados.
- Rellenos para residuos triturados: recibe exclusivamente residuos triturados, aumenta vida útil del relleno y disminuye el material de cobertura.
- Rellenos de seguridad: recibe residuos que por sus características deben ser confinados con estrictas medidas de seguridad.
- Relleno para residuos específicos: son rellenos que se construyen para recibir residuos específicos (cenizas, escoria, borras, etc.).
- Rellenos para residuos de construcción: son rellenos que se hacen con materiales inertes y que son residuos de la construcción de viviendas u otra.

Clasificación según las características del terreno utilizado:

- Áreas planas o llanuras: más que rellenar es una colocación en una superficie. Las celdas no tienen una pared o una ladera donde apoyarse, es conveniente construir pendientes adecuadas utilizando muros de contención para evitar deslizamientos. No es conveniente hacer este tipo de relleno en zonas con riesgo de inundación.
- En quebrada: se debe acondicionar el terreno estableciendo niveles aterrizados, de manera de brindar una base adecuada que sustente las celdas. Se deben realizar las obras necesarias para captar las aguas que

normalmente escurren por la quebrada y entregarlas a su cauce aguas abajo del relleno.

- En laderas de cerros: normalmente se hacen partiendo de la base del cerro y se va ganando altura apoyándose en las laderas del cerro. Es similar al relleno de quebrada. Se deben aterrazar las laderas del cerro aprovechando la tierra sacada para la cobertura y tener cuidado de captar aguas lluvias para que no ingresen al relleno.

### **2.1.3. Criterios ambientales en rellenos sanitarios**

En laderas de cerros: normalmente se hacen partiendo de la base del cerro y se va ganando altura apoyándose en las laderas del cerro. Es similar al relleno de quebrada. Se deben aterrazar las laderas del cerro aprovechando la tierra sacada para la cobertura y tener cuidado de captar aguas lluvias para que no ingresen al relleno.

Los residuos sólidos están compuestos físicamente por un 40 a 50 por ciento de agua, vegetales, animales, plásticos, desechos combustibles, vidrios, etc. Químicamente están compuestos por sustancias orgánicas biodegradables, compuestos minerales y residuos sólidos peligrosos.

Las sustancias líquidas y los sólidos disueltos y suspendidos tienden a percolar por la masa de residuos sólidos y posteriormente en el suelo. Las sustancias contaminantes del lixiviado al percolar a través del suelo puede contaminar el agua de los manantiales, las subterráneas por las fisuras y otras fallas de las rocas y suelos permeables, a la vez de causar un efecto negativo en la calidad del suelo.

Todo lo anterior lleva a tener en cuenta el microclima dentro del cual se tiene la lluvia que influye en los fenómenos biológicos y químicos, con el transporte de contaminantes, problemas en vías de acceso y del trabajo en si del relleno sanitario, por lo tanto el relleno debe ser drenado superficialmente por la periferia y el fondo del relleno.

El viento también causa molestias, llevando los olores y el polvo a las vecindades.

## **2.2. Descripción del basurero**

El relleno sanitario de la zona 3 de la ciudad de Guatemala cuenta con una extensa área, pero debido a que todos los municipios del departamento de Guatemala llevan sus desechos para depositar, ha empezado a presentar problemas con su capacidad.

### **2.2.1. Ubicación del basurero**

Su ubicación es camino a la avenida Bolívar de la zona 1 y entre la zona 3, su dirección exacta es la 9A avenida zona 3, ciudad de Guatemala, colinda al este con el cementerio General de la ciudad de Guatemala.

Figura 4. **Ubicación del relleno sanitario, zona 3**



Fuente: <https://maps.google.com.gt/maps?hl=es-419>. Consulta: marzo del 2013.

### **2.2.2. Área del basurero**

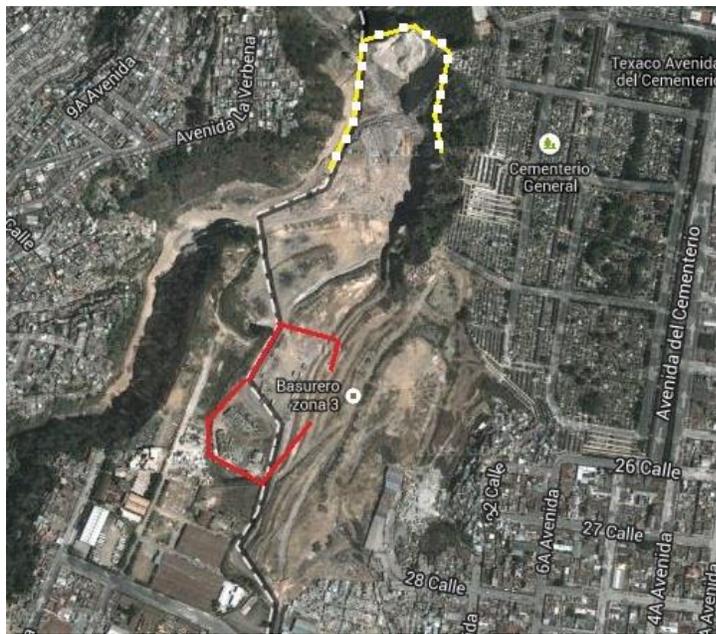
El relleno sanitario de la zona 3 es un vertedero autorizado el cual comprende una extensión de 17,5 hectáreas de propiedad privada y está ubicado en el centro geográfico de la ciudad. En este se localizan las áreas rellenas y las áreas complementarias del mismo.

### **2.2.3. Área disponible**

El área disponible para el relleno sanitario es la mencionada en el inciso anterior. Cuenta con 2 patios para descarga de camiones (área marcada con

línea continua), una manual y el otro mecánicamente (camión de volteo). El área norte del relleno sanitario es la considerada zona de extremo riesgo por estar situada cerca de una falla geológica (área marcada con línea discontinua, parte superior).

Figura 5. **Vista área del relleno sanitario, zona 3, Guatemala**



Fuente: <https://maps.google.com.gt/maps?hl=es-419>. Consulta: marzo del 2013.

### **2.3. Crecimiento, desarrollo y generación de desechos sólidos urbanos**

El crecimiento demográfico y la expansión urbana, desencadenan una serie de presiones al medio ambiente y entre estos está el incremento de generación de residuos sólidos. Los residuos generados en los municipios que conforman el área Metropolitana de Guatemala tienen como destino final el vertedero de la zona 3 a cargo del municipio de Guatemala.

Es por ello que se debe considerar asimismo, que junto con el crecimiento poblacional, urbano, así como el desarrollo económico, aumenta la demanda de la infraestructura adecuada que acompañe el crecimiento de una ciudad, incluyendo entre esta las instalaciones para atender la disposición de los residuos sólidos que ejercen una gran presión dentro de la dinámica urbana.

### **2.3.1. Crecimiento demográfico**

De acuerdo a los estudios de diagnóstico del sistema de manejo de residuos sólidos, en los municipios del área Metropolitana (Mixco, Villa Nueva, Villa Canales, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pínula, San José Pínula, Chinautla y Fraijanes) se reporta una población de 2 196 221 habitantes según el censo 2002.

La tasas de crecimiento para estos municipios durante el periodo de 1994 al 2002 vario del 1,7 % al 11,8 % anual con un promedio del 4 %. De acuerdo al crecimiento poblacional la mayor parte corresponde al municipio de Guatemala.

En algunos municipios las tasas son superiores al 5 % llegando incluso hasta el 11,8 % lo cual es considerado bastante alto con respecto al promedio anual. Se estima que la población del área Metropolitana genera la cantidad de 2,063 toneladas/día de desechos sólidos donde la mayor parte es transportada hacia el relleno sanitario de la zona 3.

### **2.3.2. Generación de desechos sólidos urbanos en el área Metropolitana**

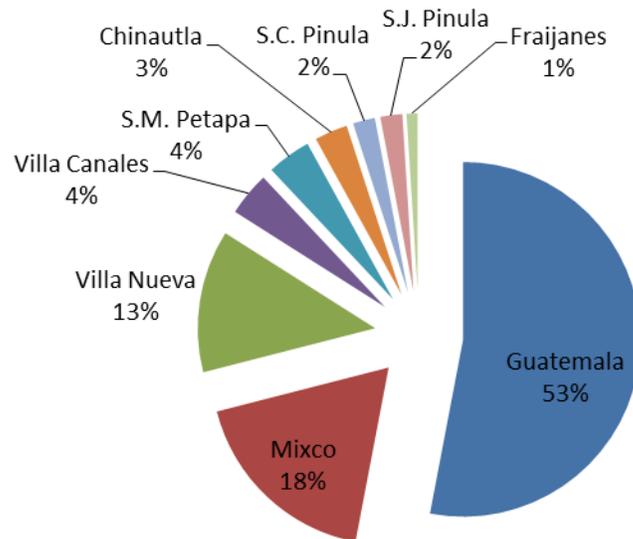
“La cantidad de residuos producidos por el área Metropolitana se estima que es de 2,063 toneladas por día, de las cuales aproximadamente 1,500

toneladas son depositadas en el vertedero de la zona 3. La proyección de producción de desechos para el 2012 es de 2,672 toneladas por día. En base a estos datos la generación de residuos sólidos alcanza aproximadamente a 1 kilogramo por habitante.

De esta generación, más de 1,500 toneladas diarias son llevadas al vertedero de la zona 3, cuyo origen corresponde en un 53 % al municipio de Guatemala, 47 % restante a los 8 municipios.” (Estudio realizado por Ecoforest Ltda., dentro del Programa ATN/MT-7736-GU *Modernización de manejo de desechos sólidos en la ciudad de Guatemala* bajo la cooperación técnica entre la Municipalidad de Guatemala y el Banco Interamericano de Desarrollo).

Ninguno de los municipios de Mixco, Villa Nueva, Villa Canales, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, San Jose Pinula, Chinautla y Fraijanes, colabora económicamente al mantenimiento y control del relleno sanitario de la zona 3 por lo que el costo económico, ambiental y social cae totalmente a la Municipalidad de Guatemala.

Figura 6. **Generación de desechos sólidos**



Fuente: Archivo, Programa ATN/MT-7736-GU. Municipalidad de Guatemala.

### **2.3.3. Escasa responsabilidad ambiental de la población, sectores económicos e institucionales**

La escases cultural y la falta de responsabilidad ambiental son factores importantes que afectan a la ciudad para un adecuado manejo de los desechos sólidos.

Actualmente no existe ningún costo que se cobre por generar residuos sólidos, solo el costo de recolección, por lo que para la Municipalidad de Guatemala representa un reto atender esta problemática y proveer los servicios ambientales seguros sin un presupuesto que este asignado directamente a ello.

La falta de un costo o tarifa por la generación, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos dificulta educar a una población, industrias,

empresas e instituciones que generan arbitrariamente residuos sólidos, sin darse cuenta que la misma generación provoca una serie de problemas ambientales.

Dentro del sistema actual de disposición de los desechos sólidos, el servicio de recolección se provee a través de microempresas privadas y que se conocen como “camiones amarillos”. Estas pequeñas empresas han venido desarrollando las actividades de recolección desde hace varias décadas, cobrando a la población directamente por los servicios que prestan.

No obstante la mayoría de generadores pagan por el servicio de traslado al relleno sanitario de la zona 3 sin ningún tratamiento, la Municipalidad de Guatemala no percibe ningún ingreso de los usuarios, recolectores o ente gubernamental para atender el tratamiento y disposición final adecuadamente.

Dentro del relleno sanitario de la zona se encuentran los “separadores informales” que seleccionan los materiales reciclables para posteriormente venderlo a intermediarios de los mercados de reciclaje.

Los materiales que recogen para reciclar los separadores son plástico, cartón y aluminio. Los recolectores cuentan con ciertas limitaciones o problemas con la recolección de los materiales, una de ellas es que no cuentan con un establecimiento y utilización de áreas específicas para el almacenamiento del producto recolectado.

Las áreas que utilizan para almacenar los productos recolectados están dentro del relleno sanitario, lo que dificulta más el tiempo de descarga de los camiones, crea entorpecimiento del espacio, dificulta la compactación de los residuos e incrementa el peligro de accidentes.

Figura 7. **Almacenamiento de materiales reciclados**



Fuente: [www.projectpastores.blogspot.com](http://www.projectpastores.blogspot.com). Consulta: marzo del 2013.

Otro problema que presentan los recolectores es que son víctima del mercado negro de reciclaje en el relleno sanitario, puesto que son obligados a destinar el material recolectado a los “recicladores” quienes en décadas pasadas fueron también separados informales y progresaron económicamente a través de la venta de material para reciclar, siendo estos los que comercian con los intermediarios.

Por otro lado existen muchos usuarios quienes no pagan ni siquiera el servicio de recolección por lo que los residuos generados por estos, ejercen una gran contaminación a los recursos naturales si son depositados en basureros clandestinos.

El total de viviendas generadoras de residuos sólidos en el área Metropolitana constituye un total aproximado de 617,442 usuarios, desde el punto de vista de cobertura se puede establecer con base a estudios realizados

por JICA (1992) y posteriormente por Novotecn (1997) que esta llega al 82 % en ciudad de Guatemala y substancialmente menor en los otros municipios.

En Mixco es de 74.12 %, San José Pínula 18,74 %, en Chinautla 44,15 %. Cálculos realizados en base a producciones teóricas per cápita y en el ingreso de vehículos transportadores al vertedero.” (Datos analizados dentro del estudio “Selección y Diseño Preliminar de Sitios y Tecnología” desarrollados por el consorcio IDOM, CIC Geometría S. A. y Ecoforest Ltda. Basados también en estudios anteriores realizados por la Agencia de Cooperación Japonesa JICA y la empresa NOVOTECNI para la Municipalidad de Guatemala).

#### **2.3.4. Aspectos sociales y actividades informales en el relleno sanitario**

Dentro de este marco surge otro reto a afrontar, los “separadores informales”. Estos separadores seleccionan los materiales reciclables dentro del mismo vertedero para posteriormente venderlo a intermediarios de los mercados de reciclaje.

Dicha actividad es llevada a cabo en condiciones infrahumanas, por lo que la vulnerabilidad de estas personas se incrementa.

Anteriormente niños y menores de edad también solían trabajar dentro del mismo sin ninguna prevención sanitaria.

La Municipalidad de Guatemala a partir del Reglamento de Manejo de Desechos Sólidos, publicado el 2001, carnetizo a los adultos que ya se dedicaban a estas actividades y prohibió el ingreso de nuevos separadores informales, así como de menores quienes fueron retirados para ser atendidos

en la guardería municipal o para ser capacitados en futuras oportunidades laborales.

Sin embargo, esta problemática tiene raíces más profundas, la oportunidad de ejercer actividades económicas de la separación y reciclaje informal de los residuos, continuará amenazando la seguridad y la salud de los separadores informales, quienes desempeñan estas actividades en una zona de alto riesgo, altamente contaminante.

La solución no puede ser tener mejores instalaciones para este sector vulnerable, sino que la presión social que ejercen cesara hasta que no se encuentren otras actividades económicas sustitutivas que puedan desarrollar con mayor dignidad y seguridad.

### **2.3.5. Aspectos técnicos y costos del relleno sanitario de la zona 3**

Dentro de los aspectos técnicos del relleno sanitario, se puede señalar que trabaja 365 días al año, considerando sábados y domingos como días de menor actividad. El relleno opera desde las 7 de la mañana hasta las 6 de la tarde, sin embargo, se labora durante horas extras cuando los cambiones recolectores sobrepasan la jornada laboral. Se encuentran 42 empleados municipales asignados a las tareas cotidianas.

El relleno sanitario recibe 1 536 toneladas diarias en 480 viajes de recolectores amarillos y se disponen en los 284 000 metros divididos en plataformas.

- El patio 1 es utilizado para camiones de volteo mecánicamente.

Figura 8. **Descarga de camiones de volteo**



Fuente: Camino Seguro. [www.digital.nuestrodiario.com](http://www.digital.nuestrodiario.com). Consulta: marzo del 2013.

- El patio 3 es utilizado para los camiones de descarga manual.

Figura 9. **Descarga Manual**



Fuente: Basurero de la zona 3. [www.photo.net](http://www.photo.net). Consulta: marzo del 2013.

- Patio 5 es el área extrema norte, la cual considerada una zona de extremo riesgo por ser vulnerable a derrumbes.

Figura 10. **Extremo norte, relleno sanitario, zona 3**



Fuente: [http://www.prensalibre.com/noticias/Tragedia-repite-basurero-zona\\_0\\_166185574.html](http://www.prensalibre.com/noticias/Tragedia-repite-basurero-zona_0_166185574.html).

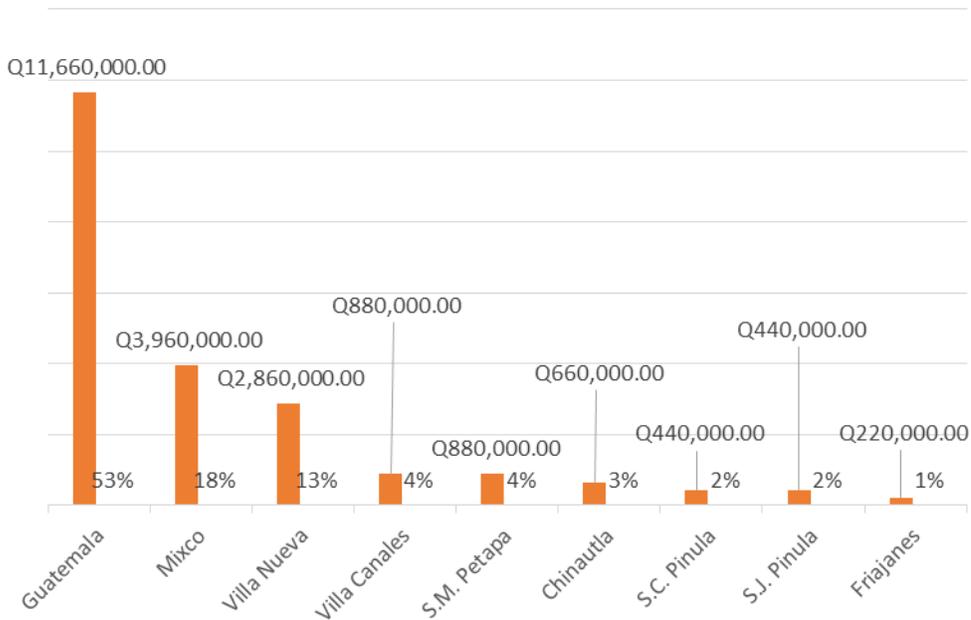
Consulta: marzo del 2013.

Los costos de disposición, control y trabajos que se realizan para maniobrar los desechos depositados ascienden a Q. 22 millones anuales. Este costo corre totalmente por los fondos de la Municipalidad de Guatemala. Sin embargo, ninguno de los 8 municipios que usan el relleno sanitario aporta

económicamente o en especie para atender las labores que el control del relleno implica.

Si cada municipio que conforma el departamento de Guatemala asumiera sus costos relacionados al porcentaje de desechos sólidos que genera, los costos quedarían de la siguiente forma para cada municipio.

Figura 11. **Costos asociados por generación de desechos sólidos**



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

### 2.3.6. Composición de los desechos sólidos

La composición física de los desechos sólidos se puede establecer que aproximadamente el 50 % están compuestos de material orgánico (restos de

alimentos, desechos vegetales, papel contaminado, etc.) lo que indica un potencial para aprovechamiento de descomposición por procesos biológicos.

Los materiales reciclables representan aproximadamente el 30 % de los residuos que incluyen papel, cartón, plásticos, textiles, metales, zapatos, madera y vidrio, lo cual igualmente representa un potencial importante para las actividades recuperación y aprovechamiento.

Se puede llegar a concluir que los materiales orgánicos y reciclables comprenden aproximadamente el 80 % que representa un alto porcentaje de material para aprovechamiento y valoración. En cuanto a su composición química, el contenido de humedad representa más del 60 % el cual se debe a las condiciones climatológicas del área Metropolitana y al alto contenido de materia orgánica.

El contenido de humedad alto que se tiene en los residuos trae como consecuencia un aporte importante en la cantidad de lixiviados que se genera en los sitios de disposición final.

Los materiales combustibles se encuentran en una fracción superior al 30% (plásticos, papel, textiles y cartón) representando una fracción importante que favorece la posible utilización de procesos térmicos de disposición o de recuperación de energía. Este valor es consecuente con la capacidad calorífica de 1,112 kcal/kg.

### **2.3.7. Evaluación del relleno sanitario de la zona 3**

De acuerdo a las evaluaciones establecidas y realizadas al relleno sanitario de la zona 3 se resume así:

- El vertedero se localiza en una zona que no es viable ambientalmente para este tipo por las siguientes razones:
  - Se encuentra dentro de la zona urbana de la ciudad, lo cual limita su desarrollo.
  - Se encuentra dentro del cauce de una corriente intermitente con los riesgos de contaminación por lixiviados de la misma.
  - El relleno se localiza dentro de la franja de 4 km., definida como zona de influencia para la pista del aeropuerto de Guatemala.
- No cuenta con sistemas de impermeabilización de fondo por lo que parte de los lixiviados se están infiltrando en el suelo lo cual es favorecido por la permeabilidad de los suelos subyacentes.
- No cuenta con sistema de registro y control de ingreso apropiado y bascula de pesaje.
- La cobertura y compactación se aplica esporádicamente lo cual hace que los residuos se expongan permanentemente a la intemperie incrementándose la producción de lixiviados y propiciando la formación de malos olores en un área de influencia importante (500 metros a la redonda).
- No se cuenta con sistemas para el drenaje y recolección de lixiviados, este material no es tratado por lo cual está siendo vertido directamente al suelo respectos a los drenajes de agua de lluvia próximos al vertedero.

Se estima que la producción de lixiviados es de aproximadamente 400 metros cúbicos por día.

- La maquinaria no es adecuada y se encuentra en mal estado mecánico lo cual no permite compactar, cubrir adecuadamente los residuos y reconformar adecuadamente el vertedero.
- En el vertedero se encuentran localizados 1 980 separadores informales que dependen de la actividad de recuperación de materiales reciclables con inexistentes medidas de higiene, salud y seguridad industrial. Su presencia obstruye las labores técnicas de operación del vertedero y crea un resigo importante de epidemia para su salud y la salud del resto de la población de Guatemala.
- El vertedero cuenta con un estudio de impacto ambiental y licencia, aunque su cumplimiento ha sido muy bajo ante los limitados recursos para su operación.

#### **2.4. Recolección de los desechos sólidos urbanos**

Existen 508 vehículos autorizados para realizar la recolección en el municipio de Guatemala, los cuales recolectan desechos generados no solamente en el municipio de Guatemala sino en 7 municipios del área Metropolitana.

Además existen otros 64 vehículos autorizados para recolección de desechos de mercados, barrido, mantenimiento vial y generadoras de desechos industriales.

Los residuos son recolectados en forma mezclada y son transportados a los sitios de disposición final principalmente el relleno sanitario de la zona 3 y en menor proporción al de Villa Nueva.

El relleno sanitario de Villa Nueva se encuentra localizado en kilómetro 22 carretera CA-9 sur jurisdicción de Bárcenas, municipio de Villa Nueva, departamento de Guatemala.

Figura 12. **Localización de relleno sanitario de Villa Nueva**



Fuente: Municipalidad de Villa Nueva. Diagnóstico ambiental, relleno sanitario km. 22 Ca. Sur Villa Nueva. Consulta: abril del 2013. 26 p.

La mayoría de camiones son de descarga manual, los camiones de volteo hidráulico tardan alrededor de 15 minutos para ingresar y salir del sitio mientras los de descarga manual se tardan en un aproximado de hora y media. Ambos

tipos son ineficientes si se comparan con vehículos provistos de sistema compactador.

Los propietarios de los vehículos están vinculados a 2 agrupaciones, ARTRADESGUA (Asociación de Recolectores y Transportistas de Desechos de Guatemala) y URBAGUA (Unidad de Recolectores de Basura de Guatemala).

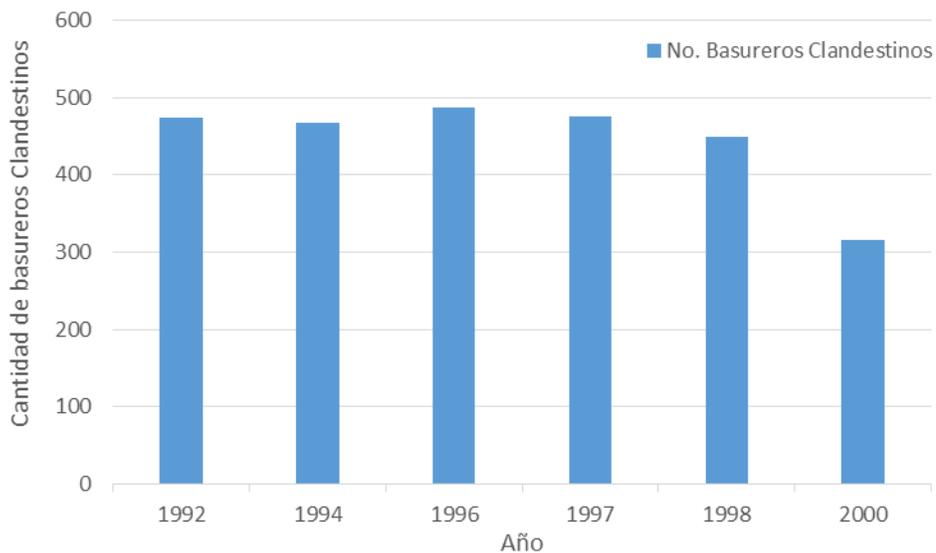
Los recolectores generalmente realizan algunas prácticas orientadas a reducir sus costos o aumentar sus ganancias. Estas prácticas comprenden la segregación de materiales reciclables en el momento de la recolección o dentro del vehículo recolector.

## **2.5. Basureros clandestinos**

Desafortunadamente ante la falta de conocimientos ha existido una escasa responsabilidad ambiental, creando así un terrible hábito de tirar la basura en barrancos o terrenos baldíos, bajo puentes, ríos o lagos e incluso quemarla a cielo abierto.

A través del Departamento de Limpieza de la Municipalidad de Guatemala el número de basureros clandestinos se ha ido reduciendo, especialmente en los últimos años.

Figura 13. **Reducción del número de basureros clandestinos**



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

Los botaderos clandestinos proliferan ya que los usuarios no pagan ninguna tarifa y recursos establecidos de parte de las municipalidades y Ministerio de Medio Ambiente para ejercer control y penalización, así como la falta de conciencia ambiental de la población, se vuelve aún más difícil acabar con estos botaderos.

Los basureros clandestinos están ubicados en áreas no aptas y no reúnen las condiciones mínimas ambientales, por lo que son altamente nocivos para la salud y para el medio ambiente. Una práctica que se ha logrado reducir son los desechos de ripio.

## **2.6. Impacto del relleno sanitario y costos no contabilizados**

Los impactos que genera el relleno sanitario de la zona 3 capitalina desafortunadamente no son perceptibles a primera vista, debido al inadecuado manejo de la recolección y el transporte de los desechos sólidos se está incurriendo en costos económicos y sociales no contabilizados.

Entre los costos no contabilizados están:

- Costos ambientales
- Costos de congestión vehicular
- Costos de localización de empresas en el sector central y la ciudad
- Deterioro de la ciudad

Para los próximos 10 años se estima que se producirán 6,2 millones de residuos que requieren un tratamiento y disposición final. Si estos residuos se dispusieran en un relleno sanitario controlado se estima que el terreno necesario para esto sería de 80 hectáreas.

El actual relleno sanitario de la zona 3 cuenta con solo 17 hectáreas lo cual sobrepasa su capacidad para la disposición final.

### **2.6.1. Lixiviados**

Los lixiviados en particular representan una seria amenaza ya que estos corren de acuerdo a las corrientes hídricas, penetran el subsuelo y consecuentemente los mantos freáticos de los cuales extrae el agua como fuente potable.

Este tipo de desechos se seguirán generando tanto en el relleno de la zona 3 como en los basureros clandestinos, que ciertas comunidades van conformando con el afán de no pagar por un servicio de recolección ni de tratamiento.

Este tipo de problemática tiene que tener una investigación para saber realmente las dimensiones del problema y las secuelas que provocan los lixiviados.

### **2.6.2. Gas metano**

Los gases que se generan de la descomposición de los residuos son altamente nocivos para la salud, el aire y el mismo calentamiento global.

Los residuos del relleno sanitario contienen un altísimo porcentaje de materia orgánica y agua por lo que se descomposición es bastante acelerada y la emisión de metano se incrementa. De acuerdo a los expertos el gas metano es 22 veces más contaminante que los producidos por los vehículos y representa una amenaza mayor a la atmosfera incrementando su temperatura.

Actualmente los gases no se queman a través de mecheros ya que tampoco existe una infraestructura de chimeneas por lo que están continuamente liberándose y en un plano más directo están impactando a la salud.

Las personas que se encuentran en el relleno sanitario son afectadas por este tipo de gas, las secuelas de inhalación tampoco han sido cuantificadas pero repercuten especialmente como enfermedades respiratorias.

Este tipo de gas puede generar incendios o explosiones por cualquier actividad que se realice, ante esto la Municipalidad de Guatemala trabaja diariamente en la cobertura de las capas de desechos para estabilizar el mismo y evitar explosiones o posibles incendios.

Adicionalmente los propietarios del terreno están en el desarrollo de un proyecto de explotación de biogás por lo que ya se iniciado a ubicar una primera fase de instalación de chimeneas para canalizar los gases.

### **2.6.3. Enfermedades**

La disposición inadecuada puede atraer alimañas e insectos portadores de enfermedades como malaria y tifus, además de gérmenes patógenos como las bacterias o virus que pueden constituir una seria amenaza para la salud.

Este tipo de enfermedades no han sido cuantificados en su totalidad puesto que muchos de estos casos son resueltos domésticamente y no asiste a ningún centro de salud u hospital.

## **2.7. Costos y presupuesto municipal**

Uno de los problemas que se tiene es que no solo el municipio de Guatemala sino otros municipios también hacen uso del relleno sanitario y estos no contribuyen de ninguna forma económica para amortiguar los gastos que se generan.

Cada año la Municipalidad de Guatemala se ve forzada a reorganizar el presupuesto destinado al relleno sanitario. Los fondos que podrían destinarse para plantas de tratamientos quedan relegados por las necesidades inmediatas

como lo son: la mitigación en el área del relleno sanitario, manejo y control de más de 1 500 toneladas de desechos diarios.

El presupuesto destinado para el relleno sanitario es de Q. 22 000 000,00 anualmente para el control del vertedero de la zona 3. El presupuesto actual del relleno ha sido aumentado más de 7 veces en los últimos cinco años, considerando que en el 2001 se destinaban Q. 3 345 000,00.

La mayor parte del presupuesto en los últimos años ha sido utilizado para el arrendamiento de maquinaria pesada puesto que la maquinaria municipal no está en la capacidad de operar tales cantidades y ya tiene más de 20 años de estar operación continua.

“Para el mantenimiento y reestructuración del actual vertedero la Municipalidad de Guatemala deberá invertir según el estudio IDOM – CIC Geomatica – Ecoforest (2003-2004).” (Datos analizados dentro del estudio “Selección y Diseño Preliminar de Sitios y Tecnología” desarrollados por el consorcio IDOM, CIC Geometría S. A. y Ecoforest Ltda. Basados también en estudios anteriores realizados por la Agencia de Cooperación Japonesa JICA y la empresa NOVOTECNI para la Municipalidad de Guatemala.)

- Inversión de colectores Q.20 000 000,00
- Inversión “ideal” saneamiento y extensión para el Q. 113 880 000,00

### **3. ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS URBANOS**

#### **3.1. Reciclaje**

El reciclaje es un proceso mediante el cual los residuos se incorporan al proceso industrial como materia prima para su transformación en un nuevo producto. El reciclaje es muy importante para la preservación del medio ambiente.

Cuando se recicla, se obtienen varias ventajas. Se evita el desperdicio de materia prima y recursos no renovables. Además se ahorra energía.

Entre las ventajas del reciclaje están:

- Reducción del volumen de residuos
- Preservación de los recursos naturales
- Ahorro de energía
- Reduce la contaminación de aire, suelo y agua
- Reducción a costos asociados a la producción de bienes nuevos

#### **3.1.1. Reciclaje de desechos orgánicos**

Los desechos sólidos orgánicos son aquellos que provienen de la naturaleza y que tuvieron vida una vez. Están compuestos de materia muerta y biodegradable; significa que se descomponen de manera natural.

Entre los desechos orgánicos que se pueden mencionar están: desechos de alimentos (cáscara de huevos, frutas y verduras, huesos), filtros de café y bolsitas de té, desechos de jardinería (hojas de árbol, ramas, pasto, etc.).

Los desechos orgánicos pueden ser procesados en presencia de oxígeno para compostaje o en la ausencia de oxígeno mediante la digestión anaeróbica.

Ambos métodos producen un efecto acondicionador de suelos, una especie de abono o fertilizante, que si se prepara correctamente también puede ser utilizado como una valiosa fuente de nutrientes en la agricultura urbana. La digestión anaerobia también produce gas metano y por tanto supone una importante fuente de bioenergía.

La elección de una técnica u otra depende, entre otras cosas, de la cantidad y tipo de material a procesar, inversión disponible y disponibilidad de terreno, complejidad operacional y del producto final que se quiere obtener. Las medidas mínimas recomendables para la pila o el recipiente son de 70 cm de ancho por 1 m de alto.

Procedimiento para realizar un compost:

- A. Seleccionar un lugar adecuado para colocar la pila o el recipiente, tiene que tener sombra en verano, el lugar también debe de estar protegido contra la lluvia.
- B. Equilibrar los nutrientes ricos en nitrógeno (verdes, como frutas y verduras) con aquellos ricos en carbono (marrones, como hojas secas, ramas, depósitos de té y café).

- C. Para comenzar hacer el compost, en el recipiente o lugar escogido para realizarlo, se coloca una capa gruesa de ramitas (aproximadamente 15 cm). Luego se coloca una capa de materiales orgánicos verdes, seguidamente de una capa de materiales orgánicos marrones. Finalmente debe humedecerse bien y volver a repetir el proceso.
- D. Evitar restos de huesos, carne, pescado, lácteos, ya que estos crean mal olor. Una buena medida es cubrir los restos con hojas secas para evitar malos olores y los insectos.
- E. Cada 3 días se recomienda revolver el contenido del recipiente o pila a fin de que entre aire para acelerar el proceso de descomposición. La humedad es fundamental para la descomposición, pero en medida, debe estar húmedo no mojado. Si se moja, se puede agregar más material marrón o darle vuelta. Si está muy seco es preciso agregar agua. El abono está listo en aproximadamente 8 semanas y tendrá el color y apariencia de tierra.

Figura 14. **Compost**



Fuente: cosas de casa, cómo hacer un compost. [www.tuscosasdecasa.blogspot.com](http://www.tuscosasdecasa.blogspot.com). Consulta: abril del 2015.

### **3.1.2. Reciclaje de papel y cartón**

La fabricación de una tonelada de cartón produce el corte de aproximadamente 17 árboles medianos. En la fabricación de papel y cartón se produce los siguientes impactos al medio ambiente:

- Consumo de madera para fabricar papel y cartón.
- Consumo y contaminación de agua.
- Consumo de energía.
- Generación de residuos en gran volumen.
- Contaminación atmosférica por mercaptanos, polvo, ácido sulfhídrico, SO<sub>2</sub>.

El cartón en su gran mayoría está compuesto básicamente por celulosa, lo que hace fácil integrar sus componentes al suelo. El papel de oficina es el mejor y el más fácil de reciclar, además de tener más valor, el papel blanco vale más que el papel de color, además está hecho con fibras fuertes que soportan el proceso de reciclaje.

Al reciclarlo solo se necesita un 25 % del cloro que utilizan los fabricantes, reduciendo así la cantidad de dioxinas en el agua. Además, algunos procesos de blanqueado en el reciclaje no utilizan sustancias químicas con cloro.

Reciclar el papel de impresora y el normal, ahorra el 33 % de la energía, que se necesita al hacer el papel con árboles. Además de árboles y energía, también se ahorra otro recurso: el agua. Cada vez que se recicla una tonelada de papel, se ahorran 26 500 litros de agua.

Como se recicla el papel:

- El primer proceso para el reciclaje de papel es la decoloración, donde se retira cualquier escrito o coloración del papel.
- Después de este proceso, el papel pasa a una batidora industrial donde el papel es troceado, se mezcla con agua templada, se calienta y se licua hasta conseguir una pasta.
- La pasta de papel pasa por una serie de trampas magnéticas industriales para retirar clips, grapas, espirales o cualquier tipo de metal.
- Cada vez que se recicla el papel se provoca la ruptura de fibra por lo cual cada vez la calidad disminuye, para impedir esto se debe de agregar en porcentaje de nuevas fibras. Si se quiere un producto de menor calidad o para fabricar cartón no se debe agregar nuevas fibras.
- La mezcla pasa por una serie de procesos para retirar el exceso de humedad.
- Por último, la mezcla pasa por una serie de rodillos industriales para dar forma al papel, el grosor del papel dependerá de la calibración que se dé a la máquina.

Figura 15. **Maquinaria para realización de papel**



Fuente: [www.html.rincondelvago.com](http://www.html.rincondelvago.com). Consulta: abril del 2015.

Algo que ayuda a reciclar el papel es la separación. Se debe separar el papel blanco del de color (amarillo, verde, etc.) el de color es más contaminante y no es tan valioso como el papel blanco a la hora de reciclar. También separar el papel blanco del papel periódico.

Evitar comprar o utilizar papel brillante, como el de las revistas, papel encerado, cubiertos de plástico o engomados ya que su reciclaje es mucho más difícil y costoso.

### **3.1.3. Reciclaje de metal**

La mayor parte de los metales que existen pueden fundirse y volver a procesarse creando nuevos metales. Metales como aluminio, plomo, hierro, acero, cobre, plata y oro son reciclados fácilmente cuando no están mezclados con otras sustancias, porque pueden ser fundidos y cambiar de forma o adoptar la misma anterior.

De estos materiales, el hierro es el que tiene mayor demanda comercial. El reciclaje del aluminio está incrementándose bastante debido a que una lata, producto de reciclaje, requiere solo una parte de la energía necesaria para elaborar una lata similar con materias primas.

El aluminio es 100 % reciclable sin merma de sus cualidades físicas, y su recuperación por medio del reciclaje se ha convertido en una faceta importante de la industria del aluminio.

El proceso de reciclaje del aluminio necesita poca energía. El proceso de refundido requiere solo un 5 % de la energía necesaria para producir el metal primario inicial. Al aluminio reciclado se le conoce como aluminio secundario, pero mantiene las mismas propiedades que el aluminio primario.

### **3.1.3.1. Proceso del reciclado**

- Se recogen y se clasifican los distintos metales.
- Las latas de aluminio y de acero se comprimen para llevar a la planta de reciclaje.
- Por medio de imanes se separa el acero del aluminio. Eso debido a que su reciclaje es diferente para cada uno de ellos.
  - Aluminio:
    - Las latas de aluminio se meten en una trituradora para desmenuzarlas.
    - Se utiliza un proceso químico o mecánico para limpiar el aluminio.

- Se forman enormes bloques de aluminio para evitar su oxidación.
  - Estos bloques se funden a una temperatura de  $750 \pm 100$  °C para conseguir aluminio fundido. Se retira la escoria, el hidrogeno disuelto y se desgasifica.
  - Dependiendo del producto final deseado, se añade a la mezcla aluminio de alta pureza para conseguir unas especificaciones adecuadas para la aleación. Las 5 aleaciones de aluminio más usadas son, aluminio 6061, aluminio 7075, 1100, 6063, y 2024.
  - Dependiendo del producto final puede ser moldeado en lingotes, molduras o barras en forma de grandes bloques para su posterior laminación, atomización, extrusión, o transporte en estado fundido a otras instalaciones de fabricación para seguir su procesamiento.
- Acero:
    - Toda lata hecha de acero esta forrada por dentro por una delgada capa de estaño para evitar la oxidación con el metal que tiene por lo tanto se someten a un proceso de agua con electricidad y sustancias químicas consiguiendo así separar el estaño del acero.
    - El acero es prensando en bloques para evitar su rápida oxidación.

- El acero es fundido para obtener lingotes que pasaran por una serie de rodillos calientes para facilitar su moldura, al final el producto serán laminas finas para realizar latas o para fabricar cualquier objeto de acero.

#### **3.1.4. Reciclaje de vidrio**

Reciclar vidrio tiene una gran ventaja ya que el envase de vidrio es 100 % recuperable, puede reciclarse una infinidad de veces pudiendo así crear otros envases u otros objetos con sus mismas características sin perder ninguna de ellas.

Al reciclar vidrio se debe separar según su composición química o puede ser separado por sus colores para su proceso. El vidrio se puede clasificar en industrial y doméstico. Se entiende como vidrio industrial todo aquel que no esté destinado para alimentos y el doméstico para almacenar productos alimenticios.

Procedimiento:

- Selección previa de los tipos de materiales, como por ejemplo los vidrios que son resistentes a altas temperaturas y los que no son, ya que al mezclarse estos 2 no incompatibles químicamente provocando así que la viscosidad del vidrio sea diferente.
- Separarlos por color.
- Se limpia el vidrio con químicos para eliminar cualquier sustancia, polvo, suciedad, grasa y se retiran los elementos de plástico, papel y otros residuos.

- Después pasan por una serie de tamices y martillos hasta lograr la granulometría deseada. A continuación se pasa por unos imanes que retiran los posibles vestigios de metal, el vidrio triturado y preparado para ser derretido de nuevo se denomina calcín.
- El calcín es calentado a 1 600 grados, mezclado al 50 % con arena, hidróxido de sodio y caliza para fabricar nuevos productos que tendrán idénticas propiedades con respecto al vidrio fabricado directamente de los recursos naturales.

### **3.1.5. Reciclaje de plástico**

Existen una gran variedad de plásticos, se clasifican desde su comportamiento frente al calor (termoplásticos) hasta los elastómeros o cauchos. Debido a su composición química este tipo de material no es tan fácilmente asimilable por la naturaleza lo que causa una gran contaminación al no degradarse rápidamente.

Existen 2 tipos de modo para reciclar el plástico, la primera es por medio mecánico y la segunda es por proceso químico siendo éste el proceso más costoso. En el proceso químico existen diversos tipos de reciclar el plástico como pirolisis, hidrogenación, gasificación, chemolisis, metanolisis.

Se tiene que clasificar el plástico para poderlo reciclar, se separa en termoplásticos y los termoestables. Los termoplásticos son reciclados por proceso mecánico ya que son de fácil reciclaje en calor, estos son los envases PEBD, PEAD, PP, PET, PVC, PS, EPS y PC.

Los termoestables son más difíciles de reciclar, estos tienen que ser sometidos a un proceso químico para poder romper sus moléculas. Forman parte de estos plásticos las resinas fenólicas y las ureicas.

#### Proceso de reciclaje mecánico

Consiste en la trituración y remoción de otros materiales (como etiquetas, papel, etc.) lavado, secado y extrusión. La extrusión consigue reducir el plástico a una estructura llamada pellets (gránulos plásticos) que es la materia prima que es sometida a temperatura y moldeado para obtener así nuevos objetos plásticos reciclados.

#### Proceso de reciclaje químico

Se trata de diferentes procesos mediante los cuales las moléculas de los polímeros son rotas dando origen nuevamente a materia prima básica que puede ser utilizada para fabricar nuevos plásticos.

Existen diversos métodos, entre ellos:

- **Pirolisis:** son rotas las moléculas por calentamiento en el vacío. Este proceso genera hidrocarburos líquidos o sólidos que pueden ser luego procesados en refinerías.
- **Hidrogenación:** en este caso los plásticos son tratados con hidrógeno y calor. Las cadenas poliméricas son rotas y convertidas en un petróleo sintético que puede ser utilizado en refinerías y plantas químicas.

- **Chemolisis:** este proceso se aplica a poliésteres, poliuretanos, poliacetales y poliamidas. Requiere altas cantidades separadas por tipos de resinas. Consiste en la aplicación de procesos solvolíticos como hidrólisis, glicolisis o alcoholisis para reciclarlos y transformarlos nuevamente en sus monómeros básicos para la repolimerización en nuevos plásticos.
- **Metanólisis:** es un avanzado proceso de reciclado que consiste en la aplicación de metanol en el PET. Este poliéster (PET), es descompuesto en sus moléculas básicas, incluido el dimetiltereftalato y el etilenglicol, los cuales pueden ser luego re-polimerizados para producir resina virgen.

### **3.2. Procesos mecánico biológicos para reciclaje**

El tratamiento mecánico biológico es una tecnología de pretratamiento de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Este tipo de proceso combina la clasificación y tratamiento mecánico y el tratamiento biológico de la parte orgánica de los residuos.

La meta principal es eliminar las contaminaciones tanto a la atmósfera (biogás) como al subsuelo (lixiviados). El potencial peligro de biogás para el cambio climático es 21 veces más alto que lo de dióxido de carbono.

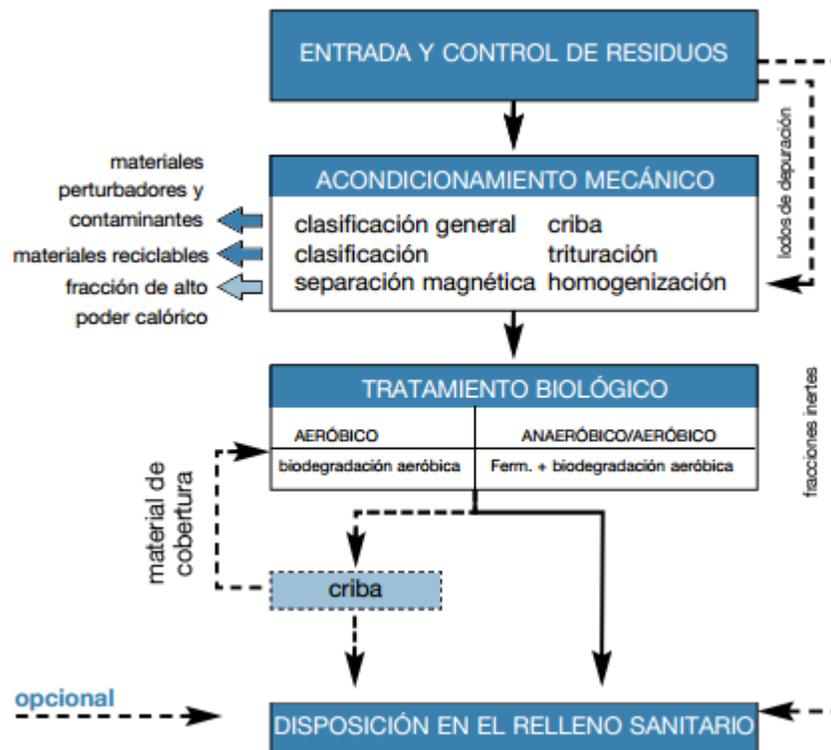
El objetivo principal de este tipo de tratamiento es minimizar el impacto ambiental de la disposición de residuos mediante una amplia estabilización de los mismos. Además, este tipo de tratamiento puede aprovecharse también para la separación de materiales reciclables.

### 3.2.1. Explicación del tratamiento mecánico biológico de residuos sólidos

Consiste en las siguientes etapas:

- Entrada y control de los residuos.
- Acondicionamiento mecánico.
- Tratamiento biológico.
- Disposición final de los residuos sólidos urbanos tratados.

Figura 16. Tratamiento mecánico biológico de residuos sólidos



Fuente: Sector Project. Proyecto sectorial tratamiento mecánico biológico de residuos sólidos.

Consulta: abril 2013. p. 10.

En la etapa mecánica se separan los materiales no deseados de los materiales reciclables. Los desechos residuales se preparan posteriormente para el tratamiento biológico que se realiza en el siguiente paso.

En el proceso biológico se trituran, mezclan y según se sea el caso se humedecen. Se pretende estabilizar estos desechos mediante degradación biológica ya sea por proceso aeróbica o anaeróbica (fermentación).

#### **3.2.1.1. Aspectos negativos de un tratamiento mecánico biológico para la eliminación de desechos sólidos**

Realmente no tiene ningún aspecto negativo el tratamiento mecánico biológico para la eliminación de desechos sólidos urbanos. Las plantas de tratamiento mecánico-biológico de residuos pueden funcionar convenientemente, desde el punto de vista económico, incluso con menores cantidades de residuos.

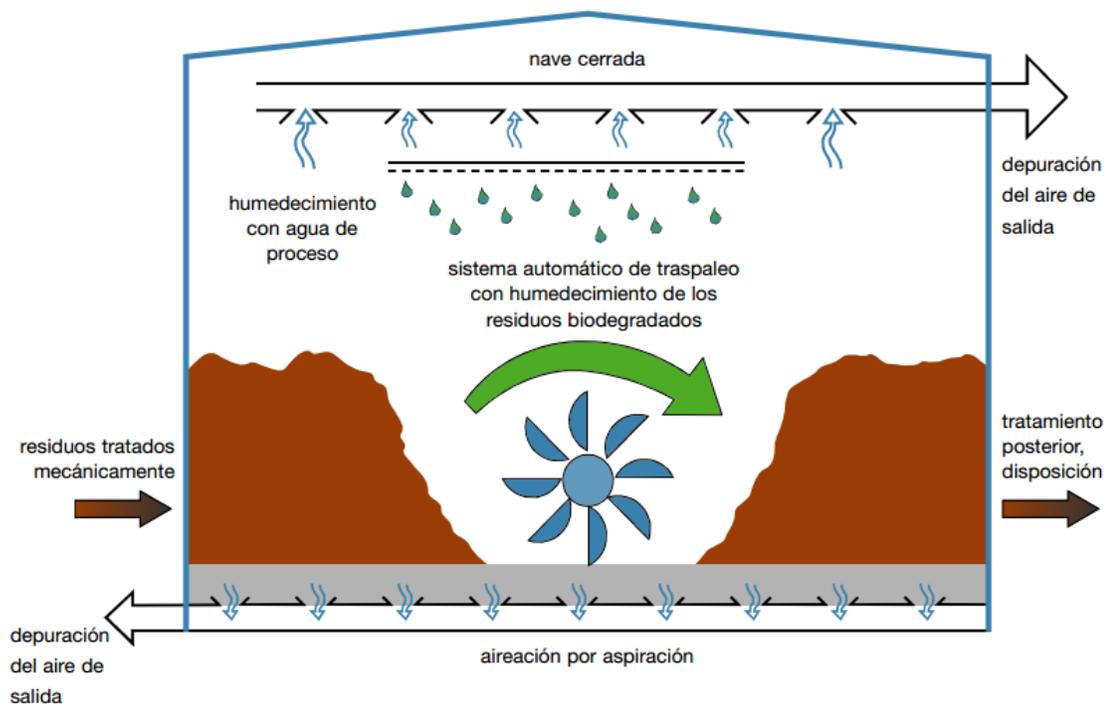
Los costos de inversión son muy inferiores a los de una planta de incineración. No obstante, especialmente en casos de grandes volúmenes de residuos, es posible combinar convenientemente el tratamiento mecánico-biológico y la incineración.

El modelo básico de un concepto de este tipo prevé la separación de los residuos de alto poder calórico (como plásticos y envolturas) de los residuos orgánicos biodegradables.

Dado el caso, la fracción de alto poder calórico se aprovecha energéticamente, la fracción orgánica se trata mediante un sistema biológico y finalmente se dispone.

El único sistema que tiene un costo elevado es un sistema de tratamiento mecánico biológico intensivo aeróbica. Los costos de construcción y maquinaria son muy elevados pero son excelentes para grandes cantidades de desechos. Pero entre sus beneficios de un sistema intensivo es que permite captar emisiones de gases, olores, polvo y el material orgánico puede ser biodegradado casi en su totalidad.

Figura 17. **Eliminación de desechos sólidos de forma controlada**



Fuente: Sector Project. Proyecto sectorial tratamiento mecánico biológico de residuos sólidos.

Consulta: abril 2013. p. 12.

### **3.3. Procesos térmicos para reciclaje**

La incineración es un proceso térmico para el tratamiento de residuos sólidos a altas temperaturas (generalmente superior a los 900 °C) mezclados con una cantidad apropiada de aire durante un tiempo, esta incineración se realiza en una planta de incineración.

#### **3.3.1. Tecnologías de incineración**

Entre las diversas tecnologías que existen para incinerar residuos sólidos se pueden mencionar las siguientes:

- Incineración por plasma

Es ideal para el tratamiento de materiales industriales. Las temperaturas oscilan desde los 5 000 hasta los 15 000 °C. Una de sus grandes ventajas es que son relativamente pequeñas y puede diseñarse como una planta móvil. Su peor desventaja es que tiene altos costos de operación por energía eléctrica.

- Incineración con tecnología de parrilla móviles

Los residuos sólidos urbanos son introducidos en el horno a través de una tolva de alimentación mediante un pulpo. En el hogar se lleva a cabo el proceso de secado y combustión de los residuos, asimismo, el flujo de los mismos se logra mediante la utilización de un sistema de rodillos móviles inclinados, que además permiten remover y mezclar los RSU a fin de asegurar una combustión completa y homogénea.

Las cenizas resultantes de este proceso son recogidas y tratadas. El comburente empleado en la combustión es generalmente aire, el cual es introducido en el horno a través de los rodillos. Los gases resultantes de la combustión son posteriormente dirigidos a la caldera de recuperación con el fin de generar energía por medio de un ciclo de Rankin.

Por último, antes de su emisión a la atmósfera deben ser sometidos a un proceso de limpieza mediante absorbedores y filtros con el fin de cumplir las restricciones en materia medioambiental.

#### Ventajas

- Adecuada para residuos grandes e irregulares.
- Se pueden incinerar algunos tipos de materiales peligrosos y hospitalarios.
- Posibilidad de incineración de gases.

#### Desventajas

- Costo de mantenimiento elevado.
- Hornos con tecnología de lecho fluidizado

En lugar de un sistema de parrilla, poseen un sustrato de arena refractaria que se mantiene en constante agitación gracias a un sistema de inyección de aire. Estos hornos están equipados con quemadores auxiliares que elevan la temperatura del lecho, mientras que los residuos son depositados en la parte superior del mismo, o bien inyectados desde la parte inferior.

El horno está dispuesto verticalmente siendo cilíndricos recubiertos de refractarios y una altura aproximadamente de 15 metros de altura.

De forma similar a las plantas con tecnología de parrilla, los gases son posteriormente enviados a una caldera para la generación de vapor. Los sistemas de limpieza de gases son esencialmente similares en ambas tecnologías.

#### Ventajas

- Alto grado de uniformidad de temperatura. Alta transferencia de calor.
- Instalaciones más compactas.
- Empleo de mezclas de heterogéneas de combustibles.
- Temperaturas sensiblemente inferiores, se evita fusión de cenizas, se reduce la erosión y corrosión.

#### Desventajas

- Necesidad de trituración previa de los residuos.
  - La recirculación del material provoca corrosión en el horno
- Hornos rotatorios

Cuentan con cámaras cilíndricas recubiertas de refractarios que cuentan con una leve inclinación horizontal y rotan a una velocidad. Este diseño permite que los residuos que ingresan por un extremo se desplazan mezclándose a través de horno hasta ser descargados hasta el otro extremo.

Cuentan con un quemador ubicado del lado de la alimentación que utiliza combustibles o residuos líquidos de alto poder calorífico. El tiempo de retención de los sólidos es de alrededor de una hora y el mismo está determinado por la inclinación, velocidad de rotación y el largo de la cámara.

En esta cámara se produce la gasificación de los residuos por medio de la volatilización y la combustión parcial de los componentes, por lo que es necesaria una segunda cámara de poscombustión.

Esta segunda cámara es parecida a la de los incineradores de inyección líquida y cuenta con quemadores que utilizan combustible auxiliar o residuos líquidos de alto poder calorífico de forma de mantener y elevar la temperatura durante el tiempo necesario.

El tiempo de estadía de los gases es de 1 a 3 segundos en la cámara secundaria. La capacidad de procesamiento de estas unidades está en el rango de las 10 a 350 ton/día.

- Incineración catalítica

Es un proceso de combustión sin llama, en el cual el lecho (relleno) catalítico inicia la reacción a una temperatura mucho más a la requerida para una incineración sin catalizador. Requiere de un catalizador a base de metales nobles, que funciona a partir de temperaturas cercanas a los 350 °C.

### **3.3.2. Etapas de la incineración de desechos sólidos**

Se puede dividir en 3 fases principales:

- Pretratamiento/alimentación
- Incineración
- Control de contaminación

## Pretratamiento/alimentación

Los residuos sólidos municipales pueden ser manipulados a granel. En primer lugar son colocados en fosos de almacenamiento intermedios por los camiones recolectores. Luego se transfieren para la incineración.

## Incineración

Para cumplir con los patrones de control de emisiones atmosféricas, la incineración debe constar de dos fases: combustión primaria y combustión secundaria

- Combustión primaria

En esta fase dura de 30 a 120 minutos a una temperatura de 500 a 800 °C. Para esta fase es importante suministrar aire de combustión en cantidad suficiente y de manera homogénea, exponiendo totalmente el residuo al calor.

- Combustión secundaria

Los gases, vapores y material particulado, liberados en la combustión primaria son soplados o succionados hacia la cámara de combustión secundario o postcombustión, hacia donde permanecen alrededor de dos segundos expuestos a 1 000 °C o más. En estas condiciones ocurre la destrucción de las sustancias volátiles y parte de las partículas.

Los principales factores que influyen en la destrucción de los residuos en esta fase son temperatura, tiempo, exceso de aire.

## Control de contaminación

Se tiene que tener control con la combustión, control de material particulado y control de gas ácido, son un aspecto fundamental en el control de las emisiones. El monitoreo y el control continuos tanto computarizados como manuales son sumamente importantes como buenas prácticas de control de contaminación. El entrenamiento de los operadores es considerado básico para prevenir la contaminación.

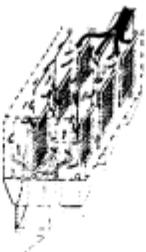
### **3.3.3. Tecnologías para el tratamiento de gases**

A efectos de cumplir con los estándares de emisión que se manejan a nivel internacional, los incineradores deben contar con sofisticados sistemas de tratamiento de emisiones gaseosas y el correspondiente sistema de control.

El sistema de tratamiento y control de emisiones constituye uno de los elementos clave en las plantas de incineración, siendo uno de los componentes mayoritarios del costo total (aproximadamente entre la mitad y un tercio del costo, dependiendo de la escala).

A continuación se detallan las tecnologías existentes para la eliminación de partículas, metales pesados volátiles y no volátiles y compuestos orgánicos (dioxinas y furanos).

Figura 18. **Ventajas y desventajas de las tecnologías de tratamiento de gases**

|                    | FILTRO MANGA   | PRECIPITADOR  | LAVADOR VENTURI  |
|--------------------|--|---|--|
|                    |   |    |   |
| <b>VENTAJAS</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja pérdida de carga</li> <li>• Recolección de partículas resistivas</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta eficiencia partículas menores</li> <li>• Bajo costo de operación</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo inicial</li> <li>• Operación simple</li> <li>• Puede recolectar gases</li> </ul> |
| <b>DESVENTAJAS</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exige enfriamiento cerca de 250 °C</li> <li>• No puede ser usado en corrientes húmedas</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto costo inicial</li> <li>• No es flexible</li> </ul>                          |  |

Fuente: Compromiso Empresarial para el reciclaje CEMPRE. *Manual de gestión integral*.

Consulta: mayo del 2013. p 277.

- **Precipitadores electrostáticos**

Los precipitadores electrostáticos consisten en un recinto estanco al gas con electrodos en su interior. Los gases son forzados a circular a través de conductos con un espesor aproximado de 20 a 40 cm. formados por pletinas metálicas cargadas eléctricamente (electrodos colectores).

En el medio de los conductos se sitúan los electrodos de descarga que generan un campo electroestático mediante el empleo de corriente continua. De esta forma, las partículas presentes en el flujo de gases ceden su carga eléctrica al electrodo colector, quedando adheridas al mismo.

Posteriormente son recogidas y depositadas en las tolvas situadas en la parte inferior del equipo. Para aumentar la efectividad del proceso, los electrodos deben ser operados lo más cerca posible del voltaje de descarga disruptiva.

- Filtros de manga

Los filtros de mangas son equipos que emplean filtros de fibras a través de los cuales circulan los gases de combustión, y en los que se quedan retenidas las partículas contenidas en el mismo.

Estos filtros deben ser regenerados a espacios de tiempo regulares, y en función del proceso de limpieza se distinguen dos tipos:

- Limpieza *off-line*: el flujo de los gases debe ser interrumpido para acometer las labores de limpieza, generalmente mediante vibración.
- Limpieza *on-line*: en estos equipos el proceso de re-limpieza no requiere la interrupción del flujo de gases y se realiza generalmente mediante la inyección de impulsos de aire a presión.

Los filtros deben ser realizados en materiales de fibra con suficiente resistencia mecánica, tolerancia a altas temperaturas, resistencia a ácidos y soluciones cáusticas y buena permeabilidad al aire.

Para evitar la formación de dioxinas y furanos, los filtros de mangas deben operar fuera del rango de temperaturas de síntesis (200 – 500 °C).

- Lavadores Venturi (*scrubbers*)

Para la eliminación de partículas de diámetro reducido, pueden emplearse lavadores Venturi asociados a precipitadores electrostáticos. En ellos las partículas contaminantes se transfieren al agua pulverizada para depositarse posteriormente en los electrodos.

- Ciclones

Los ciclones son equipos que permiten separar partículas de gran tamaño empleando un proceso de centrifugación de gases. Los equipos más empleados son los de tipo axial con recogedores de polvo cónicos en su parte inferior.

Otros sistema de control de gas ácido es el de inyección de absorbente seco (IAS) seguido por enfriamiento del gas y precipitador electrostático. Existen dos diferentes métodos de IAS. Uno involucra la inyección de álcali seco como cal hidratada en el gas de combustión después de la cámara de combustión. El otro método inyecta el absorbente directamente en la cámara de combustión.

Los óxidos de nitrógeno no son eliminados por este proceso. Se debe minimizar su generación mediante el control de las condiciones de incineración, con quemadores adecuados en la segunda cámara.

Además de estos métodos citados, la separación de materiales antes de la combustión también puede reducir las emisiones, en especial las emisiones de metales. Los materiales que pueden contribuir con emisiones perjudiciales son:

- Piezas soldadas con plomo, como recipientes de hojalata.
- Pilas domésticas o de uso médico, que contienen metales pesados, como mercurio y cadmio.
- Baterías de plomo-ácido (para vehículos), que son una de las principales fuentes de plomo en los residuos sólidos municipales.
- Ciertos plásticos, como PVC, que pueden ser precursores de la formación de dioxinas.
- residuos de jardines, que pueden perjudicar la combustión debido a su humedad variable.

Esta lista contiene muchos materiales reciclables, que refuerzan la idea de que los programas de reciclaje y de compostaje pueden tener un impacto positivo en la operación de las instalaciones de combustión de residuos sólidos.

#### **3.3.4. Análisis de costos**

Los factores de costo varían considerablemente de una instalación a otra, y por ello, las estimaciones de costo específicas son difíciles de determinar. Las variables incluyen:

- Tamaño (toneladas por día)

- Tecnología
- Ubicación (costos de mano de obra y de construcción pueden variar considerablemente).
- Tipo de financiamiento
- Tecnología de control de contaminación
- Costo de la disposición de la ceniza.

El programa de mejora para el relleno sanitario será financiado parcialmente en un 70 % por la Cooperación Técnica del FOMIN que abarca el los siguientes estudios: diseño preliminar de sitios y tecnologías, licitación para el manejo y disposición final de los desechos sólidos, el fomento de la capacidad de los recolectores privados y por último la supervisión y regulación de la municipalidad para un nuevo sistema de manejo de desechos sólidos.

El otro 30 % a financiar lo cubre la Municipalidad de Guatemala y también es destinado para los estudios que realizará la Cooperación Técnica del FOMIN. La inversión para la adquisición de un nuevo terreno y construcción del proyecto recaerá en la empresa que resulte ganadora del proceso de licitación y su inversión deberá estar proyectada para ser recuperada en un período no mayor a 25 años.

### **3.3.5. Beneficios producidos**

Entre los beneficios que se espera al lograr construir una planta para el tratamiento de residuos sólidos mediante la incineración son:

### **3.3.5.1. Económicos**

Por tratarse de una planta incineradora podrá ayudar a la generación de energía eléctrica empleando residuos sólidos urbanos como fuente de energía primaria, esta energía podrá ser vendida y distribuida con la ayuda de una de las empresas de distribución de energía eléctrica a los sectores aleñados a la planta.

Al separar y clasificar los desechos sólidos urbanos debidamente para su incineración, los desechos biodegradables tratados correctamente y con el método correcto de disposición final para su descomposición son otra fuente de extracción de energía en forma de biogás donde se pueden utilizar como combustible para motores de gas y acoplados con alternadores sincrónicos para producir energía eléctrica.

Esta energía creado a través del biogás también puede ser vendida y distribuida a los sectores cercanos de la planta.

### **3.3.5.2. Sociales**

Entre los beneficios sociales están:

- Se creara conciencia sobre la importancia del manejo adecuado de los desechos sólidos urbanos.
- Se eliminara la mala imagen en la zona 3 entornos al relleno sanitario.
- Mejora del servicio de recolección y con mejor eficiencia.
- Creará conciencia y educación en la población para clasificar los desechos sólidos de origen doméstico en biodegradables y los reciclables.

- Eliminación y mejor control sobre los rellenos sanitarios clandestinos o no autorizados por la Municipalidad de Guatemala.

### **3.3.5.3. Laborales**

Al desarrollar el proyecto se crean nuevas oportunidades laborales. Estas nuevas fuentes de trabajo se les pueden brindar y ofrecer a todas las personas que trabajan dentro del relleno sanitario dándoles así un trabajo digno, seguro y bien remunerado. Con la correcta capacitación estas personas son aptas y capaces para desarrollar una labor dentro de una planta incineradora.

## **3.4. Explotación para actividades de reciclaje en el relleno sanitario**

Como ya se había mencionado anteriormente la mayor parte de los desechos sólidos que llegan al relleno sanitario de la zona 3 capitalina son materiales orgánicos y materiales reciclables.

Los materiales reciclables representan el 30 % de los residuos como papel, cartón, plástico, madera y vidrio.

Si toda esta gran cantidad de desechos sólidos fueran clasificados antes de su recolección su reciclaje fuera mucho más sencillo en el relleno sanitario para su aprovechamiento.

Otra gran cantidad de desechos sólidos que se encuentran en el relleno sanitario son los orgánicos como restos de alimentos, desechos vegetales, etc. Con una adecuada disposición final, con la descomposición de este material se podría obtener biogás para producir electricidad para su distribución.

## **4. IMPLEMENTACIÓN DE ELIMINACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DE MANERA INCINERADA**

### **4.1. Criterio de selección**

Entre los aspectos a considerar para elegir el sistema de incineración está: tamaño de la maquinaria, tecnología, las emisiones atmosféricas, costos de instalación, costos de operación, mantenimiento, tipo de desechos a incinerar.

### **4.2. Tecnologías**

Entre las tecnologías ya mencionadas en el capítulo 3 para incineración están:

- Parrillas móviles
- Hornos de lecho fluidizado
- Hornos rotatorios
- Incinerador catalítica
- Incinerador de plasma

### **4.3. Selección de tecnologías**

A continuación se presenta un cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de los diversos sistemas de incineración:

Tabla I. **Ventajas y desventajas de hornos incineradores**

|                    | <b>Parillas móviles</b>  | <b>Lecho fluidizado</b>  | <b>Hornos rotatorios</b>   | <b>Incinerador catalítica</b>  | <b>Incinerador de plasma</b>   |
|--------------------|--|--|--|--|--|
| <b>Ventajas</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite buena recuperación de energía</li> <li>• Bajo costo inicial</li> <li>• Puede generar poco material articulado</li> <li>• Puede quemar ciertos desechos hospitalarios y peligrosos.</li> <li>• Se puede construir para incinerar hasta 1200 toneladas/día</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uniformidad con la temperatura</li> <li>• Instalaciones más compactas</li> <li>• Temperaturas inferiores que evita la fusión de cenizas, corrosión y erosión</li> <li>• Puede incinerar lodos de alcantarillados, fango</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite la incineración de materiales de formas y tamaños variados.</li> <li>• Puede incinerar residuos pastosos y láminas</li> <li>• Fácil operación</li> <li>• Puede incinerar un promedio de 200 ton/día.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación compacta</li> <li>• Puede tratar cualquier residuo con el poder calorífico adecuado</li> <li>• Costos de operación bajos si se utiliza la incineración para recuperación energética</li> <li>• Puede incinerar 200 ton/día</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente para tratar desechos industriales</li> <li>• Relativamente pequeños.</li> <li>• Pueden ser diseñados como una planta móvil</li> <li>• Puede incinerar un promedio de 150 ton/día</li> </ul> |
| <b>Desventajas</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo de mantenimiento elevado</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se necesita triturar previamente los desechos</li> <li>• La recirculación de material provoca la corrosión</li> <li>• Su capacidad se ha limitado a 10 ton/hora lo que es muy baja para la incineración de desechos sólidos urbanos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Genera gran cantidad de partículas al ambiente</li> <li>• Alto costo de mantenimiento</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos de operación y mantenimiento altos en el caso de incinerar sin recuperación energética</li> <li>• Alta inversión económica inicial</li> <li>• Necesita de control y prevención para los gases de combustión</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto costo de operación por requerir el uso de energía eléctrica</li> </ul>   |

Fuente: elaboración propia.

## Emisiones atmosféricas

Para minimizar el impacto al medio ambiente se tiene que tener un correcto tratamiento para partículas y gases.

Para la separación de partículas y polvo de los gases se utilizarán ciclones ya que son robustos y de alto rendimiento. Para tratar la limpieza de gases de escape se dispondrá de un sistema semiseco de limpieza compuesto por:

- Sistemas de inyección de amoníaco en el horno.
- Absorbedor para neutralización con instalación de lechada de cal.
- Inyección de carbón activo
- Filtro de mangas
- Ventilador de tiro inducido
- Chimenea de evacuación
- Sistema de control de emisiones

Para la eliminación del dióxido de nitrógeno se ha previsto la utilización de un sistema de reacción selectiva no catalítica (SNCR), consistente en la inyección de una solución acuosa de amoníaco (25 %) en la cámara del incinerador.

El proceso SNRC transforma los óxidos de nitrógeno en nitrógeno y vapor de agua sin generar otros contaminantes secundarios. Tiene una eficacia suficiente en la reducción de dióxido de nitrógeno a un coste reducido, generando una mínima cantidad de amoníaco residual en los gases de escape, si se controlan adecuadamente las condiciones de reacción.

La temperatura óptima de operación utilizando amoníaco como agente reductor se sitúa entre los 950 – 1 000 °C. Si se trabaja por debajo de este rango de temperaturas, la velocidad de reacción sería muy lenta y quedaría amoníaco en el gas sin reaccionar. A temperaturas más elevadas se formarían más dióxido de nitrógeno.

El propósito de un absorbedor es para mezclar convenientemente los reactivos empleados en la depuración con los gases de combustión procedentes de la caldera. Los reactivos empleados serán hidrato cálcico en suspensión para la neutralización de los componentes ácidos y carbón activo para la captación de dioxinas, furanos y metales pesados.

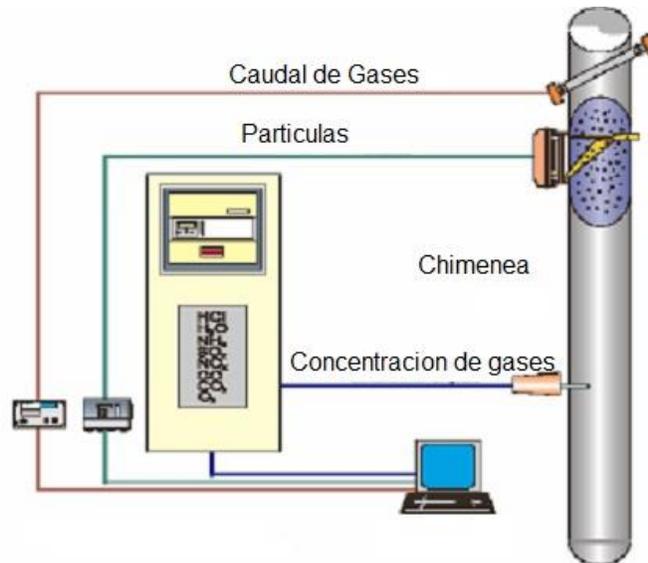
La captación de las moléculas de dioxinas, furanos y metales pesados se realiza mediante una adsorción en superficie sobre el carbón activo.

El filtro de mangas ayudara a eliminar el polvo presente en los gases procedentes del absorbedor. Estos filtros deberán limpiarse cada cierto periodo de tiempo para que funcionen correctamente.

Los hornos incineradores deberán de contar con un ventilador de tiro inducido para compensar la pérdida de presión de la caldera y chimenea. Se deberá de contar por lo menos de una chimenea, estará provista de los dispositivos de toma de muestras, pararrayos y escalera de acceso.

Se deberá de contar con un sistema de medición de las emisiones en la chimenea. Los componentes a analizar serán las partículas totales, carbono orgánico, cloruro de hidrogeno, dióxido de azufre, monóxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, amoníaco así como el contenido en vapor de agua de los gases de escape.

Figura 19. **Esquema de análisis de sistema de emisiones**



Fuente: MARTINEZ, Alejandro *Proyecto: Planta incineradora de residuos sólidos con tecnología de parrilla*. ICAI. Madrid, 2007.

Se deberán de realizar al menos 2 mediciones al año de metales pesados, dioxinas y furanos. Para realizar todas estas mediciones de los componentes se utilizara un fotómetro de infrarrojos no dispersivos.

#### Desechos orgánicos a incinerar

Son diversos los materiales que se encuentran en el relleno sanitario para su incineración, entre ellos papel, cartón, diversos tipos de plástico, zapatos, ropa, materiales orgánicos, vidrio, cuero, madera, algunos objetos metálicos (herramientas obsoletas, latas, laminas, etc.), baterías (elementos altamente contaminantes para el medio ambiente), partes o componentes de electrónicos.

En el transcurso de la recolección hasta el relleno sanitario de la zona 3 se encuentran diversos recolectores (también llamados pepenadores) que recolectan materiales reciclables como los mencionados anteriormente así que la cantidad de estos materiales que llegan al relleno sanitario se reducen considerablemente.

Si la Municipalidad logra implementar un sistema de reciclaje el tipo de materiales a incinerar se reduciría bastante a solo los materiales no reciclables.

#### Demanda potencial

Con una ciudad cada vez más sobre poblada, el aumento de los desechos sólidos es cada vez mayor y el relleno sanitario de la zona 3 ya está llegando a su capacidad máxima para su disposición final de estos desechos.

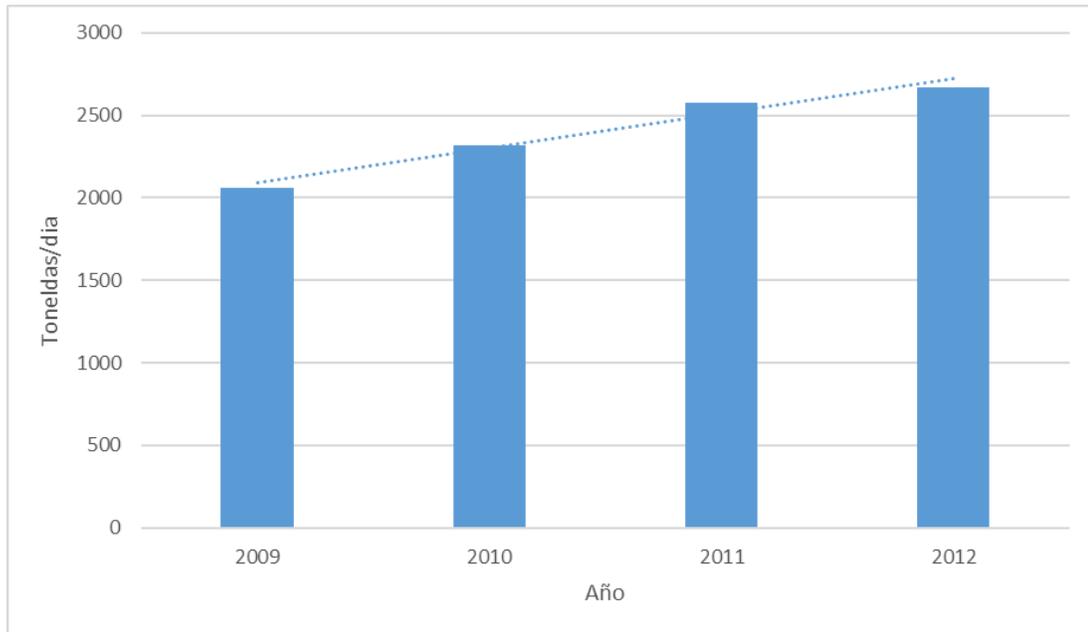
Aproximadamente el crecimiento de generación de desechos sólidos se ha ido incrementado de la siguiente forma.

Tabla II. **Crecimiento de desechos sólidos**

| <b>Año</b> | <b>Toneladas/día</b> |
|------------|----------------------|
| 2009       | 2 063,00             |
| 2010       | 2 321,00             |
| 2011       | 2 579,00             |
| 2012       | 2 672,00             |

Fuente: archivo, programa ATN/MT-7736-GU. Municipalidad de Guatemala.

Figura 20. **Crecimiento de desechos sólidos con línea de tendencia**



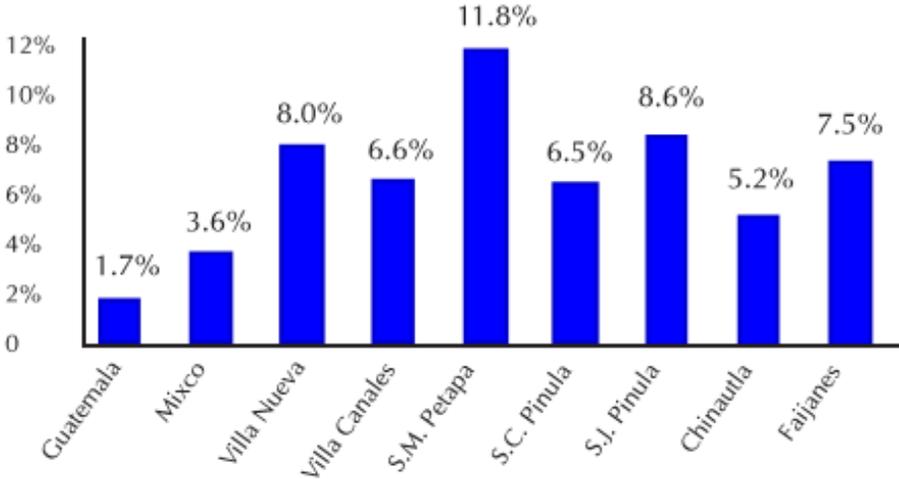
Fuente: elaboración propia.

#### **4.3.1. Proyección de la demanda**

Como se puede observar en la gráfica anterior, el crecimiento de desechos sólidos urbanos cada vez va en aumento, siguiendo una tendencia lineal, por lo que el aumento de la demanda para la recolección y disposición final también aumentará.

Dado que el aumento de los desechos sólidos depende de la población y del nivel económico de la población, se presenta el porcentaje del crecimiento de la población del departamento de Guatemala. La población para el departamento de Guatemala en el 2006 era de 1 102 353 habitantes.

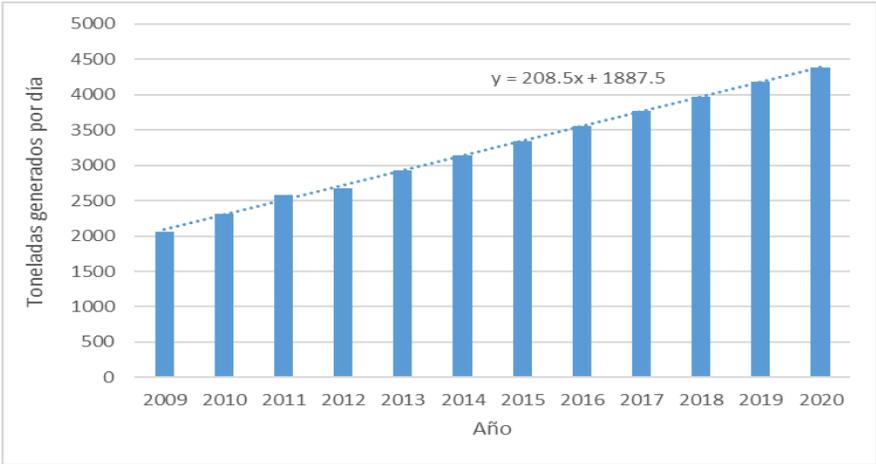
Figura 21. **Crecimiento de la población del departamento de Guatemala**



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

Se espera que el crecimiento aproximado de los desechos sólidos para los siguientes años pueda ser de la siguiente forma:

Figura 22. **Crecimiento de desechos sólidos para los próximos años**



Fuente: elaboracion propia.

Tabla III. **Crecimiento de desechos sólidos esperado para los próximos años**

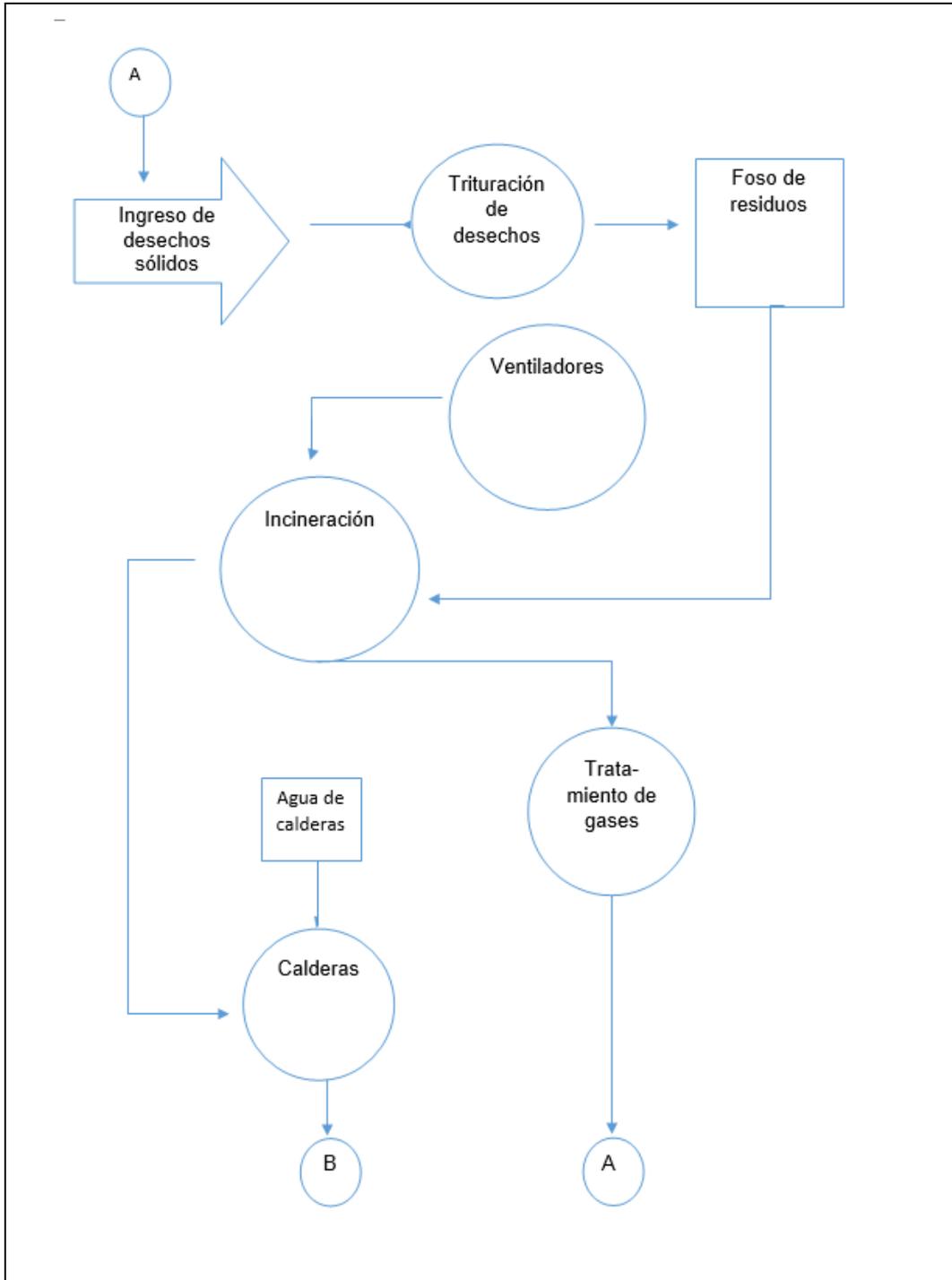
| <b>Año</b> | <b>Toneladas por día</b> |
|------------|--------------------------|
| 2009       | 2 063,00                 |
| 2010       | 2 321,00                 |
| 2011       | 2 579,00                 |
| 2012       | 2 672,00                 |
| 2013       | 2 930,00                 |
| 2014       | 3 138,50                 |
| 2015       | 3 347,00                 |
| 2016       | 3 555,50                 |
| 2017       | 3 764,00                 |
| 2018       | 3 972,50                 |
| 2019       | 4 181,00                 |
| 2020       | 4 389,50                 |

Fuente: elaboración propia.

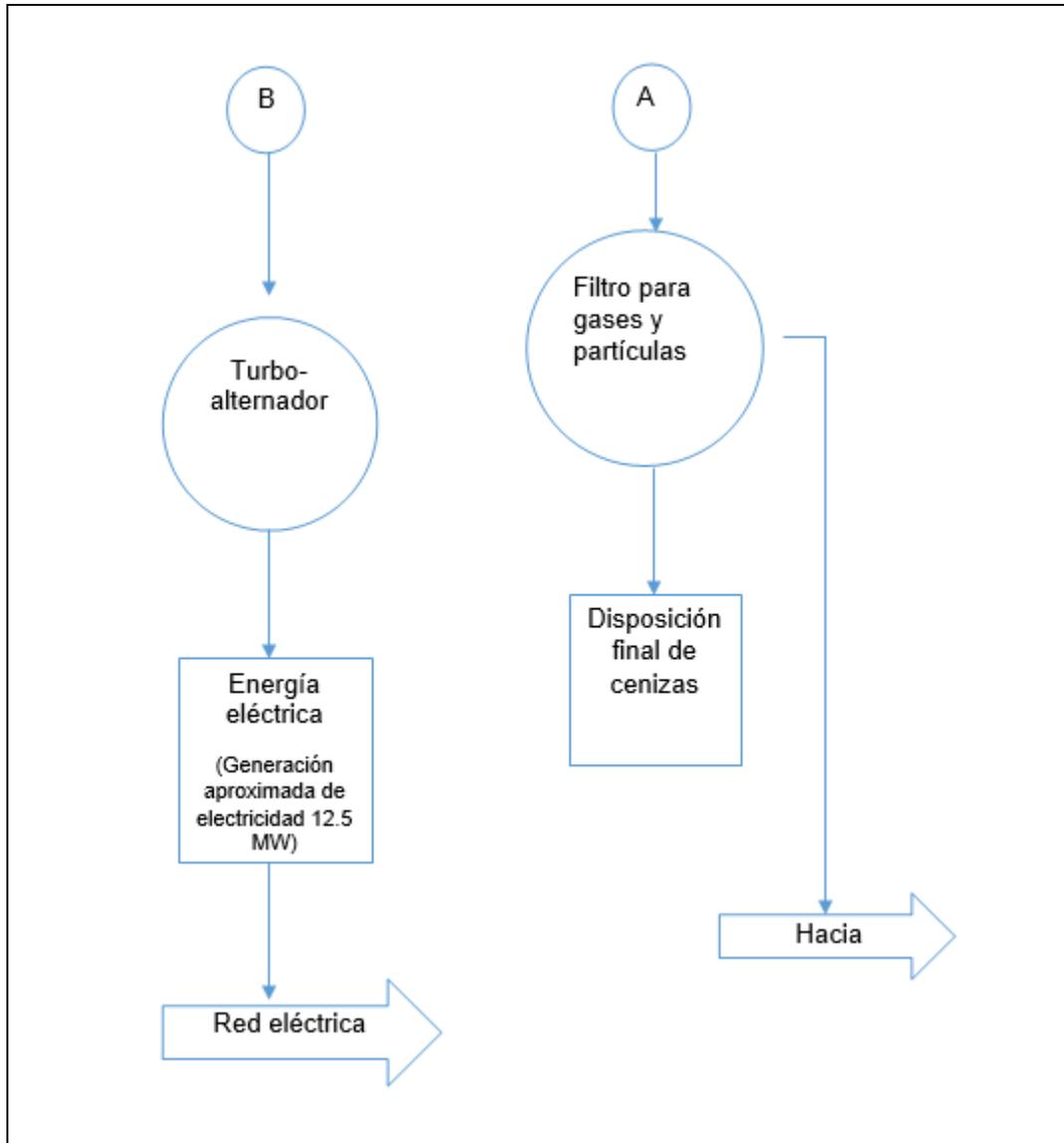
#### **4.4. Diagrama de operación de incineración**

A continuación se presenta un esquema de cómo opera una planta incineradora.

Figura 23. Diagrama de operación de planta incineradora



Continuación de la figura 23.



Fuente: elaboración propia.

#### **4.5. Protocolo de aceptación de los desechos sólidos para ser incinerados**

Para incinerar los desechos sólidos se debe de seguir ciertos procedimientos para tener un control y orden, así se lograra evitar un mal funcionamiento en el proceso de incineración.

La admisión de los residuos de origen industrial así como los correspondientes a los residuos voluminosos y a los residuos de construcción y demolición, estará sujeta a las siguientes condiciones de admisión:

- No se admitirán vehículos abandonados para incineración.
- No se admitirán los residuos voluminosos ni los procedentes de construcción o demolición, con excepción de los residuos que si pueden ser incinerados tipo combustibles (madera, plásticos, etc.).
- Los residuos de origen industrial serán sometidos a reconocimiento para determinar si son aptas para la incineración de acuerdo a lo establecido con las condiciones de los hornos incineradores.

##### **4.5.1. Control, admisión y pesaje**

En la entrada de la planta se deberá de colocar una caseta de control y salida de vehículos y de vigilancia.

La báscula para pesaje de camiones deberá estar situada en la vía de acceso al área de vaciado de residuos para que los vehículos depositen los residuos en el foso de recolección.

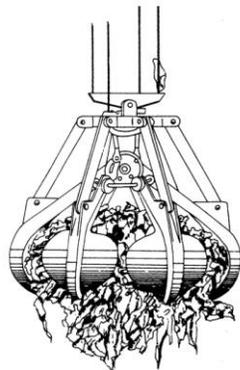
En el pesaje de los residuos se deberán de tomar los siguientes datos para elaborar informes y estadísticas generales.

- Empresa propietaria del vehículo
- Matrícula del vehículo
- Peso bruto del camión
- Fecha y hora del pesaje

El foso de recolección deberá de contar con un sistema de drenaje para la recolección de los lixiviados, producidos durante el almacenamiento para su posterior incineración en los hornos.

El foso deberá de contar de por lo menos una grúa mecánica con un pulpo mecánico o cucharón de 4 gajos para mantener la alimentación de los hornos incineradores, deberán de ser muy robustas y fiables para minimizar las operaciones de mantenimiento.

Figura 24. **Pulpo mecánico para la alimentación de los hornos**



Fuente: Compromiso Empresarial para el reciclaje CEMPRE. *Manual de gestión integral*.  
Consulta: junio del 2013. p. 274.

Estos equipos, además de proporcionar una alimentación controlada a los incineradores, se emplearán para la distribución de los residuos de forma uniforme en el foso y permitirán la mezcla de los mismos a fin de obtener un combustible lo más homogéneo posible.

La planta deberá de contar con maquinaria o equipo destinado para la trituración de residuos demasiado grandes o voluminosos para su incineración. Este equipo deberá estar situado en el área de descarga para depositar ahí directamente los desechos que meriten ser triturados.

El equipo estará formado por una serie de rodillos y equipados con un dispositivo de inversión de marcha, que permite el procesado de chapas, latas y bidones con un espesor de hasta aproximadamente 2 mm. El material triturado se vaciará directamente a través de una trampilla en el foso de residuos.

Figura 25. **Equipo para trituración de desechos sólidos**



Fuente: *Triturador de 4 ejes*. <http://www.gdinpsa.com/triturador%204%20ejes.html>. Consulta: 1 agosto del 2013.

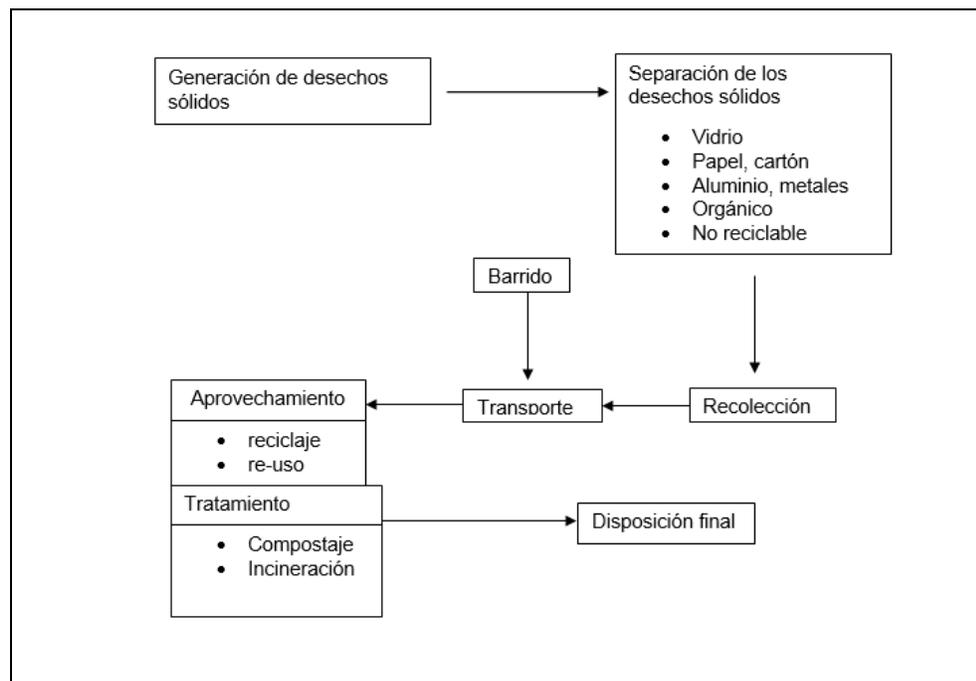
#### 4.6. Etapa de recolección y clasificación

Esta es una de las etapas importantes para el reciclaje de los desechos sólidos ya que tienen que estar correctamente clasificados para que el reciclaje sea correcto.

##### 4.6.1. Sistema de recolección de desechos sólidos urbanos

El servicio de aseo urbano o limpieza urbana tiene como principales objetivos proteger la salud de la población y mantener un ambiente agradable y sano. Consta de las siguientes actividades: separación, almacenamiento, presentación para su recolección, recolección, barrido, transporte, tratamiento y disposición sanitaria final de los residuos sólidos.

Figura 26. **Recolección de desechos sólidos**



Fuente: elaboración propia.

El generador de los desechos sólidos tiene como responsabilidad separar sus residuos, almacenarlos en un recipiente adecuado y depositarlos con la frecuencia establecida para su recolección en el lugar y horario indicados por el operador del servicio.

La municipalidad u operador de limpieza le corresponde recoger, transportar, barrer las vías y áreas públicas, colocar los desechos sólidos en un relleno sanitario debidamente autorizado para esta actividad.

#### **4.6.2. Clasificación de material incinerable**

Básicamente en un incinerador se pueden quemar muchos tipos de materiales, como orgánicos, plásticos, papel, vidrios, etc. Pero para reducir el impacto al medio ambiente se debería de incinerar solo aquellos materiales que no se pueden reciclar o que ya no se pueden reciclar después de tanto uso.

Entre los materiales que no son reciclables están los desechos de hospitales, desechos con agentes patógenos, residuos tóxicos industriales, residuos químicos, pinturas, sedimentos, lodos, aceites, disolventes, barnices.

En general se aplica a residuos que poseen un poder calorífico medio y alto, o sea tengan una matriz fundamentalmente orgánica y no más de 60-70 % de agua.

Es decir para residuos que se encuentren aproximadamente dentro de los siguientes límites:

- Contenido de compuestos Inorgánicos: < 15 % (cenizas)
- Contenido de agua: < 65 %

- Contenido de compuestos orgánicos > 30 % (poder calorífico)

El primer paso antes de decidir la incineración de un residuo es conocer sus características:

- Generales
  - Fuente del residuo
  - Tipo de recipiente
  - Precauciones de manejo
  - Naturaleza del riesgo
  - Calidad del residuo: qué sea homogéneo o heterogéneo.
  - Cambio de composición con el tiempo
- Físicas
  - Estado físico
  - Fracciones en peso
  - Características de la alimentación
  - Calor específico
  - Necesidad de O<sub>2</sub>
  - Temperatura de la llama
  - Contenido de humedad
  - Contenido en volátiles
  - Productos de la combustión
  - Contenido y características de las cenizas
  - Condiciones tiempo-temperatura de descomposición de residuos complejos
- Químicas
  - Análisis inmediato y elemental

- Sustancias tóxicas
- Metales pesados, asbestos
- Compuestos especiales: benceno, dioxinas, furanos.

El conjunto de las cuatro determinaciones (humedad, cenizas, volátiles y carbono fijo) se conoce como análisis inmediato y se realiza de acuerdo con procedimientos normalizados.

- A. En relación con la materia inorgánica que en términos de análisis inmediato se identifica con él con tenido en cenizas, resulta importante profundizar en algunos aspectos de su constitución y características.
- B. Debe analizarse el contenido en metales pesados, ya que estos pueden quedar en las cenizas fijas del proceso, con el consiguiente riesgo de toxicidad de las mismas, o pasar a la fase gas, en el caso de metales volátiles de la cual habrán de ser eliminados para cumplir los límites de emisión correspondientes.
- C. Entre las características de las cenizas interesa conocer su fusibilidad, que depende no solo de su constitución, sino también del carácter más o menos oxidante de la atmósfera en la que se lleve a cabo la incineración.
- D. Las partículas fundidas de pequeño tamaño son arrastradas por los gases de combustión, y su deposición posterior en zonas menos calientes produce ensuciamiento de las paredes en los sistemas de recuperación de calor y problemas de corrosión en general.
- E. El poder calorífico del residuo constituye un factor determinante en la economía de la incineración.

## **4.7. Etapa de incineración**

Esta es la etapa donde se incinerarán los desechos sólidos dándoles un correcto tratamiento para evitar contaminación al medio ambiente y para que tengan un lugar correcto para depositarlos.

### **4.7.1. Alimentación de residuos**

Como se había mencionado en anteriormente (inciso 4.5.1.) la alimentación de los residuos hacia los incineradores será a través de una grúa tipo pulpo mecánico. Los desechos serán colocados en fosos para su almacenamiento y luego para su incineración.

#### **4.7.1.1. Área de descarga**

El área de descarga deberá estar adjunta al área de los fosos para evitar la operación innecesaria de transporte de los residuos.

Como ya se había mencionado en el área de descargue se deberá de contar con básculas para pesar la cantidad de residuos sólidos que se va a ingresar. Deberá de contar con un sistema de limpieza para mantener el área limpia para evitar acumulación de desechos y atraer roedores/insectos nocivos para la salud.

Deberá de contar con un sistema visual para indicar la autorización de vertido del camión hacia los fosos. El área de descarga deberá de ser lo suficientemente grande para permitir la maniobra correcta de los camiones que transportan los residuos.

#### **4.7.1.2. Trituración de los desechos sólidos urbanos**

Como ya se había mencionado en el inciso 4.5.1., la trituración deberá de efectuarse en un área adjunta al área de descarga y después depositada en los fosos.

Serán triturados solo aquellos desechos que resulten demasiado voluminosos para ser introducidos directamente al incinerador. Para una correcta trituración el volumen de los desechos sólidos no debe de exceder los 10 metros cúbicos.

#### **4.7.1.3. Sistema de alimentación de desechos sólidos**

El sistema deberá de contar con las siguientes partes:

- Tolva de carga
- Conducto de carga: comunica la tolva de carga con el alimentador del horno, y a través del mismo descenderán los residuos, impidiendo la entrada de aire falso al horno.
- Alimentador del horno: en él se depositarán los residuos procedentes del conducto de carga inmediatamente antes de ser introducidos en el incinerador y estará conformado por planchas de segmentos fundidos.
- Compuerta basculante accionada hidráulicamente destinada al bloqueo del conducto de alimentación. En caso de incendio del conducto de carga

esta compuerta evitaría su propagación a la tolva de carga y al foso de residuos. Durante las operaciones de puesta en marcha y parada la compuerta se encontrará cerrada para evitar la entrada de aire a la cámara de combustión.

- Sistema de refrigeración: la parte inferior del conducto de carga así como el alimentador estarán refrigerados por agua como protección frente al calor radiante del fuego de la parrilla.
- Sensor de supervisión del nivel de llenado en el conducto de carga.

#### **4.7.1.4. Sistema de horno incinerador**

Para cumplir con los patrones de control de emisiones atmosféricas, la incineración debe de constar con dos fases que son una combustión primaria y otra secundaria.

##### **4.7.1.4.1. Sistemas estándares**

- Combustión primaria

Esta fase tiene un rango de operación entre los 30 a 120 minutos y temperaturas que oscilan entre los 500 y 800 °C, dentro de ella ocurren el secado, el calentamiento, la liberación de sustancias volátiles y la transformación de los residuos en cenizas.

Para esta fase es importante suministrar aire en cantidad suficiente y de manera homogénea, para exponer totalmente el residuo al calor para lograr una incineración total de los residuos.

- Combustión secundaria

Aquí es donde van a dar los gases, vapores y material articulado generado en la incineración primaria. Estos deben de permanecer por lo menos 2 segundos con una temperatura de 1 000 °C o más para lograr la destrucción de las sustancias volátiles y parte de las partículas.

En esta fase los factores que son importantes para la destrucción de estos residuos son el tiempo, temperatura, exceso de aire, turbulencia.

- Tiempo: los gases, vapores y partículas deben de estar por lo menos de 0,8 a 2 segundos para que ocurran las reacciones químicas de destrucción de los compuestos tóxicos.
- Temperatura: se debe de contar con la temperatura adecuada para que ocurra una ruptura entre en los átomos de los residuos y así asegurar su destrucción.
- Turbulencia: es necesario que todo el material, al pasar por la cámara de combustión, permanezca expuesto a la temperatura de incineración durante la misma cantidad de tiempo. Ninguna porción deberá pasar más rápido ya que el tiempo de residencia debe ser mantenido. Por lo que la cámara secundaria se dimensiona con el objetivo de que permia el paso turbulento de los gases, garantizando una mezcla adecuada.
- Exceso de aire: se debe suministra la cantidad adecuado de aire ya que al aumentar o disminuir esta creara la formación de monóxido de carbono la cual será expulsada por la chimenea.

Esto también indica que la combustión es incompleta o mal realizada.

#### **4.8. Disposición final de los residuos de incineración**

La ceniza es el producto final de todo el proceso de incineración de los desechos sólidos urbanos.

La gestión adecuada de la ceniza implica el manejo apropiado desde su generación en el proceso de combustión, hasta su disposición final. Debido a los efectos potencialmente perjudiciales del contacto o aspiración de la ceniza de combustión de los residuos sólidos municipales.

La descarga de ceniza no peligrosa puede hacerse en un relleno municipal para residuos sólidos. Debido a la naturaleza potencialmente peligrosa de la ceniza, el relleno utilizado debe estar equipado con sistemas de impermeabilización y recolección de percolado.

Este tipo de relleno no solo es más seguro para el medio ambiente, sino que también reduce los riesgos asociados a futuras remediaciones.

##### **4.8.1. Extracción automática de residuos**

Este será un proceso automático para que los operarios no tengan ningún tipo de riesgo en el momento de la extracción de los residuos producto de la incineración.

#### **4.8.1.1. Tratamiento de cenizas**

Las cenizas obtenidas del proceso de depuración de gases deben dosificarse en un mezclador humectador. En esta, las cenizas se humectan, se amasan y se deberán descargar en un transportador de banda. La mezcla se consigue mediante fluidificación mecánica de los productos, generada por un conjunto de palas mezcladoras a lo largo del equipo atornilladas a un eje de rotación.

Un transportador de banda apoyado sobre rodillos servirá para recoger el material mezclado. Su funcionamiento será intermitente. Las cenizas se irán depositando en un acumulador, que irá avanzando intermitentemente, para lograr una mayor acumulación de cenizas.

Luego las cenizas deberán ser transportadas hasta un cajón que contara con un nivel de llenado, al llegar a este nivel prefijado, un alimentador verterá las cenizas en una cámara de prensado, esta cámara estará provista de un cajón capaz de alojar un “big-bag” (bolsas elaboradas con plástico) con capacidad de 1 metro cúbico donde se depositará la ceniza prensada.

Después de esto las cenizas pasarán a banda de rodillos y transportará los sacos hasta un lugar para su almacenamiento. Estos sacos serán depositados en los camiones los cuales los transportarán hasta un lugar adecuado para su disposición final en el relleno sanitario.

#### **4.8.1.2. Tratamiento de escorias**

La cantidad de escorias previstas para una incineración es de un 25 % del total de desechos sólidos urbanos.

El primer paso para el tratamiento de escorias será la separación de los metales contenidos en él. Se debe de extraer toda la chatarra férrica y el aluminio. Esta extracción de metales tiene un valor que se puede reciclar y luego vender. La escoria ya tratada también tiene valor y puede ser utilizado como material de relleno en el sector de la construcción.

El resto de escorias no separadas almacenarán durante unos 5 días en un foso de hormigón, periodo en el cual se producirá un secado de las escorias, circunstancia necesaria para su procesado posterior. Con ello se pretende minimizar las adherencias y atascos producidos por las escorias húmedas recién salidas.

Una pala cargadora se encargará de alimentar las escorias secas a la tolva de una criba de barras con una luz entre barras de 250 mm., y separar aquellos elementos de gran tamaño y que no son deseables para el proceso.

Todo aquel material grueso que no logre pasar este proceso se llevará directamente a un lugar adecuado para su disposición final en el relleno sanitario.

La separación entre barras de la criba podrá regularse de forma que el operario adapte el proceso de cribado a las diferentes condiciones del material de alimentación del incinerador.

La corriente no separada por la criba de barras, caerá sobre un transportador reforzado encargado de dosificar el aporte de material al sistema de alimentación del tromel de clasificación por tamaños. Este tromel incorpora una serie de placas internas que voltean las escorias realizando no solo una

correcta criba de las mismas sino además una limpieza por abrasión de la chatarra presente.

Figura 27. **Tromel utilizado para clasificar tamaño de escorias**



Fuente: *Tromel D800*. <http://www.temicsl.com/es/productos/4-51-224.html>. Consulta: 2 de agosto del 2013.

Este tromel deberá poseer una malla de 40 mm para clasificar el material de entrada: escorias comprendidas entre los 40 y 250 mm y para las inferiores de 40 mm.

Para todo aquello mayor a los 40 mm. Será descargada sobre un transportador de banda la cual pasará por debajo de un separador automático de chatarra férrico electromagnética. La chatarra recogida es enviada a una cinta común de férricos que descarga sobre un contenedor.

El resto de las escorias que no contengan ningún material férrico serán enviadas al relleno sanitario.

El proceso para escorias menores a 40 mm es similar al anterior, desechos pasarán a un proceso para la extracción automática de material ferroso y no ferroso (aluminio). El procedimiento es el mismo, se dispondrá de una cinta transportadora que recibirá las escorias directamente descargadas desde el tromel.

En donde un separador electromagnético se seleccionará todo el material férrico, pasará a otra banda, donde esta las transportará a un contenedor para su almacenamiento.

El material no separado por el separador electromagnético pasará sobre una cinta que alimenta una criba vibrante con malla de 10 mm de luz. La función de esta criba vibrante es limpiar de finos la fracción de metales no férricos, además de distribuir los no finos sobre toda la superficie de la cinta de alimentación del separador por corrientes de inducción (Foucault) y así mejorar la eficacia de la separación.

La fracción de aluminio así separada es transportada por cinta hasta un contenedor de almacenamiento de aluminio. El resto de residuos serán transportados al relleno sanitario para su disposición final o para utilización para material de relleno para la construcción.

Figura 28. **Criba utilizada en el proceso de separación de materiales  
féricos y no féricos**



Fuente: *Criba vibratoria Circular*. <http://ore-beneficiation.es/1-5-1-circular-vibration-screen.html>.

Consulta: 5 de agosto del 2013.

## 5. SEGUIMIENTO

### 5.1. Seguridad e higiene industrial

La seguridad y la higiene laboral en un relleno sanitario es una actividad de gran importancia cuyo fin es de proteger la salud y seguridad de los colaboradores que trabajan en él.

Las causas de riesgo pueden tener dos orígenes: condiciones inseguras de trabajo y negligencias del propio trabajador.

Las principales condiciones de inseguridad en el trabajo son:

- Recoger residuos con las manos, sin el empleo de guantes, puede producir cortaduras con vidrios rotos u objetos punzo cortantes.
- Trabajar en jornadas excesivamente largas, con la consiguiente fatiga de los trabajadores.
- No llevar ropa adecuada ni equipos personales de protección.
- No realizar el aseo personal al terminar la jornada de trabajo.
- Ingerir alimentos en el frente de trabajo y no lavarse las manos con agua y jabón.

Entre los actos de negligencia más comunes del propio trabajador se encuentran:

- No usar la ropa ni el equipo personal de protección.
- Ingerir bebidas alcohólicas durante la jornada de trabajo o llegar embriagado.
- No prestar atención a la descarga del camión recolector de residuos.
- No dar un buen mantenimiento a los equipos y herramientas de trabajo.
- Fumar durante la jornada de trabajo.
- Recibir desechos sólidos urbanos que no son aptos para el tratamiento en el relleno sanitario, que por sus peligrosas características pueden afectar a los trabajadores y al ambiente.

#### **5.1.1. Equipo de protección**

Entre el equipo de protección que deberá de contar el personal operativo que se encontrará tanto laborando en el relleno sanitario como en la planta incineradora es el siguiente:

- Casco de protección.
- Guantes para la protección de las manos. Se deberán de usar guantes de uso mecánico para realizar operaciones y guantes de uso térmico en las instalaciones de la planta incineradora.

- Uniformes especiales para el tratamiento de los desechos sólidos. Se les deberá de entregar por lo menos 2 uniformes cada 6 meses.
- Calzado industrial.
- Mascarilla para la protección de malos olores y gases que puedan emanar de los desechos sólidos y de la planta incineradora.
- Gafas o lentes para protección de la vista.

Figura 29. **Equipo de protección personal**



Fuente: *Elementos de protección personal.*

<http://trabajoindustrial.blogspot.com/2011/11/elementos-de-proteccion-personal-epp.html>.

Consulta: 10 de agosto del 2013.

### 5.1.2. Señalización

Las instalaciones donde se ubicarán los incineradores y demás maquinaria para la planta de incineración deberán de contar con la debida

señalización para rutas de evacuación, así como la señalización para informarles a los trabajadores que es obligatorio el equipo de protección o para informar indicación de acciones específicas.

Las rutas de evacuación y de áreas seguras deberán estar señaladas debidamente de color verde a una altura de 2.10 metros y con distancias entre señal y señal de 3 metros. También se deberá de contar con señalización en el suelo para indicar la ruta de evacuación, esta se deberá de realizar con flechas verdes de un tamaño adecuado.

Figura 30. Señalizaciones para salidas de emergencia

| SEÑAL   | SIGNIFICADO  |
|---|--|
|    | Ruta de evacuación   |
|    | Salida de emergencia, deslizar hacia la derecha para abrir   |
|   | Salida de emergencia, deslizar hacia la izquierda para abrir |
|  | Salida de emergencia   |
|  |  |

Fuente: CONRED. *Guía de señalización de ambientes y equipo de seguridad*. Guatemala, 2011. p 28.

Figura 31. Flechas para indicar ruta de evacuación

| SEÑAL   | SIGNIFICADO        |
|---|--------------------|
|    | Ruta de evacuación |
|    |                    |
|   |                    |
|  |                    |
|  |                    |
|  |                    |
|  |                    |

Fuente: CONRED. *Guía de señalización de ambientes y equipo de seguridad*. Guatemala, 2011. p 29.

Figura 32. Señalizaciones para indicar rutas de evacuación con escaleras

| SEÑAL   | SIGNIFICADO            |
|---|------------------------|
|    | Ruta de evacuación     |
|    |                        |
|    | Ruta de evacuación     |
|  |                        |
|  | Primeros auxilios      |
|  | Teléfono de emergencia |
|  | Primeros Auxilios      |

Fuente: CONRED. *Guía de señalización de ambientes y equipo de seguridad*. Guatemala, 2011. p 30.

Figura 33. **Señalizaciones de puntos de reunión y salida de emergencias para personas discapacitadas**

| SEÑAL   | SIGNIFICADO   |
|---|---|
|    | Punto de reunión  |
|    | Empuje para abrir   |
|   | Ruta de evacuación para personas con capacidades especiales |
|  |   |
|  |   |

Fuente: CONRED. *Guía de señalización de ambientes y equipo de seguridad*. Guatemala, 2011. p 30.

En las áreas que se debe de usar equipo de protección obligatoria la señalización deberá de ser de color azul, y se usará para indicar el equipo de protección que debe de tener el trabajador para poder realizar esa actividad.

Entre los que se podrán utilizar están los siguientes:

Figura 34. **Señalizaciones para indicar el uso obligatorio de equipo de protección en cabeza, manos y pies**

| SEÑAL   | SIGNIFICADO                             |
|---|---|
|    | Uso obligatorio de casco de seguridad   |
|   | Uso obligatorio de protección auditiva  |
|  | Uso obligatorio de botas de seguridad   |
|  | Uso obligatorio de guantes de seguridad |
|  | Uso obligatorio de mascarilla           |
|  | Uso obligatorio de protección facial    |

Fuente: CONRED. *Guía de señalización de ambientes y equipo de seguridad*. Guatemala, 2011. p 22.

Figura 35. **Señalizaciones para indicar el uso obligatorio de equipo de protección en cuerpo y cara**

| SEÑAL  | SIGNIFICADO                                       |
|--|---|
|   | <p>Uso obligatorio de traje protector</p>         |
|   | <p>Uso obligatorio de mascarilla contra gases</p> |
|  | <p>Es obligatorio lavarse las manos</p>           |

Fuente: CONRED. *Guía de señalización de ambientes y equipo de seguridad. Guatemala, 2011. p 23.*

También se deberá de señalar el equipo contra incendios, el cual es de color rojo, colocarse a una altura de 1,80 metros, los extintores y todo equipo que ayuda contra un incendio deberá ser colocado a una distancia de 1,50 metros del nivel del suelo de tal forma que la parte superior del extintor no sobrepase los 1,70 metros de altura.

En las áreas de trabajo donde el promedio de altura sea baja el extintor deberá ser colocado a 1,25 metros desde el nivel del suelo.

Figura 36. **Señalizaciones para equipo contra incendios**

| SEÑAL   | SIGNIFICADO                           |
|---|---------------------------------------|
|    | EXTINTOR CONTRA INCENDIO              |
|    | MANGUERA CONTRA INCENDIO              |
|    | HIDRANTE                              |
|  | ALARMA CONTRA INCENDIO                |
|  | Conexión para equipo contra incendios |

Fuente: CONRED. *Guía de señalización de ambientes y equipo de seguridad*. Guatemala, 2011. p 22.

Se deberá de indicar las áreas donde se deberá de contar con precaución o prevención para evitar accidentes, esta señalización será de color amarillo en forma de triángulos.

Figura 37. Señalizaciones para indicar precaución y prevención

| SEÑAL   | SIGNIFICADO                         |
|---|-------------------------------------|
|    | Peligro, alto voltaje               |
|    | Sustancias peligrosas               |
|    | Material inflamable                 |
|   | Precaución, obstáculos en el sector |
|  | Precaución, agente biológico        |
|  | Cuidado, superficie caliente        |
|  | Precaución, grúas trabajando        |
|  | Precaución, hombres trabajando      |

Fuente: CONRED. *Guía de señalización de ambientes y equipo de seguridad*. Guatemala, 2011. p. 23.

### **5.1.3. Normas de seguridad**

Para evitar accidentes de cualquier tipo dentro de las instalaciones de la planta incineradora se deberán de crear normas de seguridad para que todo el personal las cumpla.

Entre las normas de seguridad que se deberán tener se puede mencionar las siguientes:

- Se deberán de señalar correctamente las vías de circulación por donde podrá pasar el personal operativo en la planta.
- No se permitirá el ingreso de personal dentro de la planta que no porte todo el equipo de protección.
- Prohibido el ingreso de personas en estado de ebriedad o que estén bajo efecto de alguna sustancia perturbadora de la conciencia mental.
- Cada operario debe de realizar la limpieza de su área de trabajo al finalizar cada turno de trabajo, para evitar accidentes y para evitar que obstaculicen las vías de circulación.
- Las vías y salidas de evacuación deberán usarse solo para este fin y no para acceso al área de trabajo.
- Los equipos para la lucha contra incendios deberán de contar con fácil acceso, no se deberá de colocar ningún objeto que obstaculice su utilización.

- En el área de descarga se deberá de señalar correctamente, las áreas por donde podrá circular el personal operativo así como señalar el área donde podrán circular los camiones recolectores.
- Informar periódicamente sobre anomalías en la planta que puedan causar accidentes para su mantenimiento preventivo o correctivo, según sea el caso que se presente.
- Brindar capacitación adecuada y permanente a todos los trabajadores para asegurar el entendimiento de los procesos de trabajo, así como también para informar de los riesgos que se corren al no realizar bien una operación.
- Establecer un programa de exámenes médicos para identificar, prevenir o curar las posibles enfermedades que se relacionan con su actividad.
- Llevar un registro formal y estadístico de los accidentes laborales en el que se expliquen sus causas con el objeto de prevenir hechos similares en el futuro.
- Dotar de equipo de protección nuevo cada semestre o antes de ser necesario, esto también depende del tipo de equipo puesto que hay equipo que debe desecharse diariamente.
- Dotar de equipo de trabajo adecuado para cada operación para que sea correctamente realizado y así evitar problemas/accidentes relacionados con un proceso mal ejecutado.

- El personal antes de abandonar las instalaciones deberá de realizar una limpieza personal como mínimo baño corporal con jabón antiséptico al estar en contacto con desechos sólidos urbanos. Se deberá contar con área adecuado para esto.
- El trabajador debe vacunarse contra el tétanos, fiebre tifoidea y otras posibles enfermedades que indiquen las autoridades sanitarias del área.
- Todos los trabajadores deben recibir capacitación en primeros auxilios, seguridad de uso de maquinaria pesada, control de incendios, identificación de desechos peligrosos, y control y limpieza de derrames de desechos peligrosos.

## **5.2. Zonas de exclusión para rellenos sanitarios o lugares para disposición final de residuos urbanos**

Lo que desea realizar al final la Municipalidad de Guatemala es crear una serie de rellenos sanitarios controlados alrededor de la capital para evitar el uso excesivo del relleno sanitario de la zona 3, así como a la vez crear un sistema de reciclaje que comience desde los hogares/industria, recolección y su disposición final.

Este sistema de reciclaje empezará desde la separación correcta de los desechos para su reciclaje.

La incineración de desechos sólidos es una solución a corto plazo que desea dar la Municipalidad de Guatemala a los problemas que tiene el relleno sanitario de la zona 3 y así poder llevar a cabo la realización de la serie de rellenos sanitarios controlados.

No todas las zonas son idóneas para implementación de un relleno sanitario, entre estas zonas se puede mencionar las siguientes:

- Distancias mínimas: la distancia mínima del sitio de disposición a la residencia más cercana, pozo de suministro de agua, fuente de agua potable, hotel, restaurante, procesador de alimentos, colegios, iglesias o parques públicos debe ser a lo mínimo de 300 metros.
- Distancias a aeropuertos: la distancia entre el aeropuerto comercial y el punto seleccionado es importante si en el relleno sanitario van a recibirse residuos de alimentos (tanto domiciliarios como de algún proceso industrial), pues estos pueden atraer pájaros en un radio de varios kilómetros. Si la operación del residuo es apropiada el problema puede ser aminorado. Se recomiendan distancias de 8 kilómetros, sin embargo, este valor puede ser reducido si es justificado utilizando otras opciones técnicas de control y manejo ecológico.
- Distancias a cursos de agua superficial: la distancia entre la carga de los residuos y el curso de agua superficial más cercano debe ser a lo mínimo de 100 metros. Este parámetro dependerá fundamentalmente de las condiciones hidrogeológicas del sitio, diferencial de altitudes y permeabilidad del suelo.
- Distancias a áreas inestables: el sitio seleccionado debe estar a un mínimo de 100 metros de áreas inestables (por ejemplo área de derrumbes) para asegurar la estabilidad estructural del sitio.

### **5.3. Duración del programa y funcionamiento**

Según lo establecido por la Municipalidad de Guatemala la duración del proyecto estaría para un período de 3 años, con un período de vida de 3 a 25 años y su inversión deberá estar proyectada para ser recuperada en un período no mayor a 25 años.

El financiamiento del programa esta descrito en el capítulo 3 en el inciso 3.3.4., análisis de costos.

### **5.4. Monitoreo y control**

Es imprescindible que se cuente con una adecuada administración, monitoreo y control de las instalaciones en el relleno sanitario así como en la planta de incineración para evitar problemas con accidentes, malos procesos, costos y contaminación al medio ambiente.

#### **5.4.1. Monitoreo de los desechos sólidos urbanos a ser incinerados**

Se debe de tener un monitoreo y control diario para que no se incineren desechos sólidos urbanos que no son aptos para estos.

Entre las recomendaciones para monitoreo y control están:

- Se debe monitorear y controlar los desechos que son triturados previamente para su incineración para que sea correctamente triturado y así evitar objetos que puedan dañar el equipo de trituración y los hornos incineradores.

- Contar con un monitoreo adecuado de los desechos sólidos para evitar la incineración de desechos sólidos urbanos que puedan ser reciclados.
- Se debe monitorear los desechos sólidos para evitar la incineración de materiales que pueden o contener material explosivo, tóxico o peligroso para la incineración.
- Cada instalación requiere de vigilantes para que personas no autorizadas, animales domésticos o silvestres no entren el sitio y puedan interrumpir en las operaciones de la planta y del relleno sanitario
- Control para el manejo de desechos sólidos urbanos personal operativo.
- Las personas que estarán en contacto con los desechos sólidos urbanos deberán de contar con un control adecuado para evitar cualquier situación peligrosa en la manipulación de los desechos.
- Es obvio que cualquier relleno y planta de incineración fracasará si no existe el personal capacitado para su operación adecuada, ya que si no se cuenta con el personal adecuado, esto se traducirá en costos, especialmente la operación de maquinaria pesada y maquinaria para incineración.
- Tanto el relleno como la incineración requieren de un ingeniero supervisor de tiempo parcial con capacitación en la operación de rellenos sanitarios y para la incineración.
- La responsabilidad del profesional es supervisar la operación entera, analizar todos los datos de operación para mejorar su eficiencia,

contratar personal, capacitar u organizar la capacitación de personal contratado, contratar especialistas cuando es necesario, y seleccionar maquinaria.

- Los trabajadores y los operadores de equipo pesado necesitan capacitación en la operación de rellenos sanitarios.

#### **5.4.2. Control para el manejo de desechos sólidos urbanos personal operativo**

Las personas que estarán en contacto con los desechos sólidos urbanos deberán de contar con un control adecuado para evitar cualquier situación peligrosa en la manipulación de los desechos.

Es obvio que cualquier relleno y planta de incineración fracasará si no existe el personal capacitado para su operación adecuada ya que si no se cuenta con el personal adecuado esto se traducirá en costos, especialmente la operación de maquinaria pesada y maquinaria para incineración.

Tanto el relleno como la incineración requieren de un ingeniero supervisor de tiempo parcial con capacitación en la operación de rellenos sanitarios y para la incineración.

La responsabilidad del profesional es supervisar la operación entera, analizar todos los datos de operación para mejorar su eficiencia, contratar personal, capacitar u organizar la capacitación de personal contratado, contratar especialistas cuando es necesario, y seleccionar maquinaria.

Los trabajadores y los operadores de equipo pesado necesitan capacitación en la operación de rellenos sanitarios.

### **5.4.3. Control de emisiones**

Dos tendencias recientes, que han tenido un gran impacto en la operación de los hornos incineradores, son las tecnologías de monitoreo y control automático.

Casi todos los aspectos del proceso de combustión en la actualidad se pueden monitorear continuamente, desde la temperatura de la cámara de combustión hasta la composición del gas que sale de la chimenea.

Existen también dispositivos de control operados por computadora, que pueden activarse al instante por alteraciones en la operación, e introducir la correspondiente acción correctiva. Todos esos instrumentos han logrado un aumento de la seguridad y la reducción del riesgo ambiental de la instalación de hornos incineradores.

Los objetivos principales del sistema de control son:

- Mantener la temperatura del horno dentro de sus valores de consigna.
- Evitar una mala combustión por falta de residuos.
- Evitar el apagado del fuego por sobrealimentación.
- Mantener estable la producción de vapor.
- Mantener las emisiones dentro de los límites establecidos.

#### 5.4.3.1. Evaluación de emisiones admisibles

Entre las emisiones que se encuentran presentes en la incineración de los desechos sólidos urbanos están:

- Óxido de azufre.
- Ácido clorhídrico (HCl).
- Monóxido de carbono (CO), originado por una combustión incompleta.
- Óxidos de nitrógeno (NO).
- Compuestos orgánicos tales como dioxinas, furanos, clorobencenos, cloro fenoles e hidrocarburos poliaromáticos.
- Metales pesados presentes en el flujo de residuos como plomo, cobre, cadmio, mercurio, siendo éste último el más problemático al volatilizar a 330 °C.
- Partículas sólidas compuestas de inquemados provocados por combustiones incompletas.

Para estas emisiones, las emisiones admisibles por metro cúbico de desechos sólidos urbanos incinerados es la siguiente:

Tabla IV. **Emisiones admisibles por metro cúbico incinerado**

| <b>Partículas</b>     | <b>Emisiones admisibles a la atmosfera</b> |
|-----------------------|--|
| Ácido clorhídrico     | 10 mg/metro cúbico                         |
| Fluoruro de hidrogeno | 1 mg/metro cúbico                          |
| Óxido de azufre       | 50 mg/metro cúbico                         |
| Dióxido de azufre     | 50 mg/metro cúbico                         |

Fuente: MARTÍNEZ, Alejandro. *Proyecto: planta incineradora de residuos sólidos con tecnología de parrilla*. ICAI. Madrid, 2007.

- Monóxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno para instalaciones nuevas o para instalaciones superiores de incineración de 6 toneladas por hora es de 200 mg por metro cúbico de material incinerado.
- Monóxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno para instalaciones nuevas o inferiores a incineración de 6 toneladas por hora es de 400 mg por metro cúbico de material incinerado.
- Para partículas generadas por sustancias orgánicas es de 10 mg por metro cúbico de material incinerado.

Tabla V. **Emisiones permisibles para metales pesados**

| <b>Metal pesado</b> | <b>Emisión de partículas admisibles a la atmósfera</b> |
|---------------------|--|
| Cadmio              | Total de 0.05mg/metro cúbico                           |
| Talio               |  |
| Mercurio            | 0.05mg/metro cúbico                                    |
| Antimonio           | Total de 0.05mg/metro cúbico                           |
| Arsénico            |  |
| Plomo               |  |
| Cromo               |  |
| Cobalto             | Total de 0.05mg/metro cúbico                           |
| Cobre               |  |
| Manganeso           |  |
| Níquel              |  |
| Vanadio             |  |

Fuente: MARTÍNEZ, Alejandro. *Proyecto: planta incineradora de residuos sólidos con tecnología de parrilla*. ICAI. Madrid, 2007.

#### **5.4.3.2. Frecuencia de monitoreo**

Para las emisiones de gases anteriores descritas en el inciso 5.4.3.1., la frecuencia de monitoreo, análisis y toma de muestras es diaria. Estas medidas se tomarán a cada hora para tener un mejor control estadístico.

Para el monitoreo de la emisión de metales pesados, estos se deberán de monitorear, analizar y tomar medidas en un período de muestreo mínimo de 30 minutos y en un período máximo de 8 horas.

#### **5.4.4. Control en la incineración**

El control en la incineración es una parte importante del proceso de incineración, ya que ayudan a garantizar las condiciones óptimas del proceso y, de ese modo, previenen los posibles incidentes y los impactos subsiguientes en el ambiente.

Es recomendable que se debe de operar con base en las especificaciones del fabricante para evitar fallas en el uso de los hornos incineradores.

El resultado de unos sistemas de control adecuado es un proceso de incineración que tiene menos variaciones en el tiempo, lo que hace más estable el proceso y homogéneo para la incineración.

Un control adecuado para la incineración trae las siguientes ventajas:

- Una mejor utilización de la capacidad, ya que disminuye la pérdida de capacidad térmica por las variaciones.
- Una mejor eficacia energética, ya que disminuye la cantidad media del aire de incineración.
- Un mejor funcionamiento del sistema de tratamiento de gases, ya que la cantidad y la composición de los gases de combustión son más estables.
- Menos mantenimiento y mejor disponibilidad de la planta.
- Una menor formación de óxidos de nitrógeno, debido a unas condiciones del proceso en el horno más estables.

- Una menor formación de ácido clorhídrico y monóxido de carbono, debido a unas condiciones del proceso en el horno más estables.

#### **5.4.4.1. Cámara de combustión y la alimentación**

Se deberá de realizar sobre las cenizas resultantes una prueba de ignición (pérdida de material volátil de las cenizas), cuyo valor deberá ser menor de 8 %, con frecuencia máxima de 15 días. Si el valor es mayor del 8 % implica que presenta combustión incompleta y son señales de una inadecuada operación del incinerador relacionadas con la alimentación o sobrecarga del equipo.

Cada una de las cámaras debe operar con su propio e independiente quemador y control automático de temperatura. El suministro del aire para la combustión de los residuos debe ser graduable e independiente de la entrada del aire para la combustión del combustible.

El incinerador debe estar equipado con quemadores suplementarios de emergencia a fin de mantener la temperatura necesaria para operar. El incinerador debe tener una puerta para el cargue de los residuos a incinerar y una o varias puertas para la extracción de las cenizas.

Por último la alimentación y el paso de una cámara a otra deben poseer equipos automáticos que no permitan la alimentación en caso que las temperaturas descieran por debajo de las requeridas.

#### **5.4.4.2. Mantenimiento**

El punto central con respecto al mantenimiento de un incinerador es su revestimiento refractario para el calor. Los factores más importantes en el cuidado son:

- Temperatura: operar por encima de la temperatura especificada por el fabricante como límite máximo puede dañar el horno incinerador y su material refractario. Normalmente es controlada automáticamente.
- Operación intermitente: el calentamiento y el enfriamiento necesitan seguir una velocidad especificada por el fabricante. Aún dentro de estas condiciones, cada parada y arranque de operación representan desgaste y riesgo para los hornos incineradores.
- Por lo tanto, la operación continua (24 horas por día y 7 días por semana) es la mejor opción para extender la vida del revestimiento refractario en los hornos incineradores.
- Evitar choques mecánicos causados por sólidos duros, por ejemplo, piezas de metal. Además, evitar el suministro en grandes cantidades de sustancias como sodio ya que destruyen gradualmente los revestimientos de los hornos.

También se debe de contar con una documentación, por ejemplo manuales, que puedan servir de apoyo para para el personal de la planta incineradora, entre esto documentos podrían estar:

- Operación: todos los procedimientos operacionales deben estar registrados en forma clara y accesible a los operadores. Este manual debe contener todas las condiciones, tales como diferentes cargas de residuos sólidos, secuencia de parada y arranque, velocidad de enfriamiento y calentamiento, frecuencia y valores aceptables de lectura para las distintas variables del proceso.
- Mantenimiento: debe contener detalle de mantenimiento preventivo, lista de piezas de repuesto, procedimientos de calibración de sistemas de control automático, valores establecidos para todas las variables, plano de interrelaciones para todas las condiciones irregulares de operación, alarma e interrupción de operación, además del registro de eventos principales, como mantenimiento correctivo.
- Resolución de problemas: cada arranque de una planta que opera en régimen continuo, presenta problemas operacionales en mayor cantidad que durante la operación normal. Es importante tener registrados en un manual estos problemas, sus causas probables y sus soluciones.
- Toda la información que suministre el proveedor del equipo debe contar con traducción técnica al idioma español y que debe indicar el fabricante costo de asesoría o instalación directa de los equipos.
- El proveedor deberá de proporcionar una garantía contractual del suministro de repuestos.

## **5.5. Resultado de análisis de la investigación**

- A. Al eliminar los desechos sólidos urbanos que están en el relleno sanitario de la zona 3 de la ciudad de Guatemala de forma incinerada, ayudará a resolver los problemas del exceso de acumulación que existen en un período corto de tiempo. Para que no exista un gran impacto en el medio ambiente por la incineración de los desechos sólidos se deberá de contar con un estricto control con las emisiones de los gases y partículas, así como también de una adecuada incineración de los desechos sólidos urbanos.
  
- B. La mayor cantidad de desechos sólidos urbanos generados en el departamento de Guatemala son en un 50 % desechos orgánicos (restos de comida, madera, residuos de vegetales, frutas, café) lo cual indica que un gran porcentaje de los desechos sólidos son biodegradables al medio ambiente. Otro tipo de desechos sólidos urbanos que se encuentran en el relleno sanitario de la zona 3 del municipio de Guatemala son los reciclables como cartón, papel, llantas, metales, aluminio, vidrio, plástico que representan el 30 % de los desechos. El resto corresponde a lodos, lixiviados y humedad en los desechos sólidos, químicos, sedimentos.
  
- C. La mejor alternativa para el manejo de los desechos sólidos urbanos es el reciclaje. Para evitar usar este método de incineración de desechos en otros rellenos sanitarios se deberá de crear un proceso de reciclaje que deberá de empezar desde la separación de los desechos sólidos urbanos generados por las personas o industrias hasta su disposición final para un correcto tratamiento de los desechos. Con los residuos orgánicos se puede crear tratamientos especiales para su descomposición y así generar biogás para la generación de energía.

- D. Los costos entre las tecnologías para la incineración de los desechos sólidos urbanos varían considerablemente de una instalación a otra por lo cual determinar los costos son difíciles de estimar. Entre los factores importantes que influyen en el costo son tamaño de la planta incineradora así como la cantidad de material a incinerar diariamente o anualmente, la tecnología para la incineración, mano de obra calificada para la construcción, ubicación, el financiamiento, tecnología para el tratamiento de las emisiones.
  
- E. Se debe de establecer un procedimiento correcto para la incineración de los desechos sólidos urbanos. Estos procedimientos deberán de comenzar desde su separación, recolección, transporte, admisión a la planta, pesaje, almacenaje para incineración, incineración y disposición final. Se deberán de clasificar correctamente los desechos que serán incinerados y así evitar incineraciones innecesarias de elementos que pueden ser reciclados.
  
- F. La incineración de desechos sólidos urbanos se puede aprovechar para la generación de energía eléctrica la cual puede ser vendida y distribuida a las zonas que estén alrededor de la planta. También se puede aprovechar el biogás generado por la descomposición de materia orgánica ya que su proporción es alta en el relleno sanitario de la zona 3, ciudad de Guatemala. Esta energía podría ser vendida a un precio más accesible, este oscilaría alrededor de 1.91 quetzales por kWh.
  
- G. Una alternativa más viable para la Municipalidad de Guatemala sería el estudio, construcción y operación de un nuevo relleno sanitario donde se cuente con la tecnología adecuada para llevar a cabo una degradación controlada de los desechos orgánicos y así poder obtener biogás para

generar una fuente de energía más ecológica. Uno de los materiales presente en el rellenos sanitario son las llantas que con un correcto tratamiento de molienda se puede obtener asfaltos, materiales para obras civiles y alfombras

- H. Con la alternativa de construir un nuevo relleno sanitario y al contar con la separación adecuada de los desechos sólidos se podrían establecer dentro de las nuevas instalaciones del relleno, centros de reciclaje para papel y cartón, metales y aluminio, vidrio. Con lo cual la Municipalidad podría utilizar para la venta y así obtener beneficios para utilizarlos en proyectos municipales.

## CONCLUSIONES

1. Los desechos urbanos sólidos que se encuentran en el relleno sanitario de la zona 3 se pueden clasificar en 50 % orgánicos, 30 % reciclables, 20% a lodos, lixiviados y humedad en los desechos sólidos, químicos, sedimentos. Se identificaron los siguientes elementos en los desechos sólidos urbanos: restos de comida, madera, residuos vegetales, fruta, desechos de café, cartón, papel, llantas, metales, aluminio, vidrio, plástico, zapatos y ropa.
2. La mejor alternativa que se encontró para el manejo y control adecuado de los desechos sólidos está el reciclaje, con el cual se deberá de crear un proceso de separación de los desechos sólidos desde su punto origen de generación, hasta su disposición final para un correcto tratamiento.
3. Los costos asociados a las diversas tecnologías de incineración son difíciles de estimar debido a los siguientes factores: tamaño, ubicación, cantidad de material a incinerar, tecnología, mano de obra calificada para la construcción, financiamiento, tecnología para el tratamiento de emisiones.
4. El procedimiento adecuado para la clasificación e incineración de los desechos sólidos comenzará con la separación y clasificación desde su punto de generación, recolección, transporte, incineración y disposición final.

5. Se puede llegar a crear energía eléctrica a partir del proceso de incineración de los desechos sólidos o bien a través de un proceso de compostaje generando así biogás para generar electricidad. El valor que se podría llegar a tener la energía sería de aproximadamente a 1,91 quetzales por kWh pudiéndose vender incluso a un precio inferior a este.

## RECOMENDACIONES

1. El financiamiento de este proyecto deberá de contar con el apoyo económico de todas las municipalidades de los municipios del departamento de Guatemala, ya que ellos también envían sus desechos sólidos urbanos al relleno sanitario de la zona 3 de la ciudad de Guatemala.
2. Realizar un estudio para adoptar las tecnologías adecuadas para el tratamiento de desechos sólidos de cada municipio del departamento de Guatemala, porque las condiciones y realidades son diferentes para cada uno de ellos.
3. Promover el reciclaje en el departamento de Guatemala a través de las municipalidades, comenzando con la separación adecuada de los desechos sólidos en material orgánico, vidrio, papel y cartón, metales y aluminio para que sea más fácil su tratamiento, reciclaje y disposición final.
4. Tener un mejor control en la proliferación de basureros clandestinos, así como sancionar a las personas que tiren basura en lugares no aptos para su disposición final.
5. Al crear un sistema de incineración de desechos sólidos, la Municipalidad de Guatemala deberá mejorar sus prácticas ambientales reforestar áreas aledañas al relleno sanitario y áreas en la capital donde se pueda realizar esta labor.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CONAMA. *Reglamento sobre el estudio de evaluación de impacto ambiental*. Guatemala, 1988, 100 p.
2. DUARTE DÍAZ, Felipe Andrés. *Caracterización de los desechos sólidos del municipio de San Antonio La Paz, departamento de El Progreso y propuesta para relleno sanitario*. Trabajo de graduación de Ing. Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008, 120 p.
3. Fundación para el Desarrollo y la Conservación. *Propuesta técnica para el Establecimiento del Cinturón Ecológico Metropolitano de la Ciudad de Guatemala*, Guatemala: FUNDAECO, 2005, 150 p.
4. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitario Manuales. [en línea] <<http://www.bvsde.paho.org/bvsars/e/fulltext/rellenos/rellenos.pdf>> [consulta: 5 de junio del 2013].
5. HENRY ALLEN, Beverly Karold. *Alternativas para el aprovechamiento de los desechos sólidos del relleno sanitario de tecnología apropiada de AMSA*. Trabajo de graduación de Ing. Química, facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011, 132 p.

6. *Reglamento de manejo de desechos sólidos para el Municipio de Guatemala*. Guatemala, 2003, 50 p.
7. Municipalidad de Guatemala. *Estudio técnico: Perspectiva del medio ambiente urbano, GEO ciudad de Guatemala*. Guatemala, 2008, 500 p.
8. Municipalidad de Villa Nueva. *Diagnóstico ambiental relleno sanitario km. 22 Ca. sur Villa Nueva*, Guatemala. Guatemala, 2007, 50 p.
9. Proyecto sectorial tratamiento mecánico-biológico de residuos sólidos. [en línea] <<http://www2.gtz.de/dokumente/bib/04-5732.pdf>> [Consulta: 10 de marzo del 2013].
10. Requerimientos Técnicos y Normativos para Hornos Incineradores [en línea]<[http://nuevoportal.corantioquia.gov.co/Tematicas/Residuos %20Peligrosos/Protocolo%20requerimientos%20t%C3%A9cnicos %20y%20normativos%20para%20hornos%20incineradores.pdf](http://nuevoportal.corantioquia.gov.co/Tematicas/Residuos%20Peligrosos/Protocolo%20requerimientos%20t%C3%A9cnicos%20y%20normativos%20para%20hornos%20incineradores.pdf)> [Consulta: 20 de mayo del 2013 ].
11. Residuos Sólidos urbanos, Manual para la Gestión Integral. [en línea]<[http://www.cempre.org.uy/index.php?option=com\\_content&view=article&id=71&Itemid=76](http://www.cempre.org.uy/index.php?option=com_content&view=article&id=71&Itemid=76)> [Consulta: 15 de junio del 2013].
12. TUCHES OROZCO, Elvia Arcely. *Módulo: reciclaje de desechos sólidos dirigido a la comunidad de El Cantón El Milagro, Chiquimulilla, Santa Rosa*. Trabajo de graduación de Facultad de Humanidades, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011, 70 p.

13. WAGNER, Travis. *Contaminación, causas y sus efectos*. México: Ediciones Gernika, 1996, 90 p.



## APÉNDICE

Datos utilizados para realizar grafica en el inciso 2.3.2. Del capítulo 2 referente a la generación de desechos sólidos urbanos.

Tabla I. **Generación de desechos sólidos por municipio**

| <b>Municipio</b>      | <b>%</b> |
|-----------------------|----------|
| Guatemala             | 53%      |
| Mixco                 | 18%      |
| Villa Nueva           | 13%      |
| Villa Canales         | 4%       |
| San Miguel Petapa     | 4%       |
| Santa Catarina Pínula | 2%       |
| San José Pínula       | 2%       |
| Chinautla             | 3%       |
| Fraijanes             | 1%       |

Fuente: Archivo, Programa ATN/MT-7736-GU. Municipalidad de Guatemala.

Datos utilizados para realizar grafica en el inciso 2.5. Del capítulo 2 sobre la reducción de basureros clandestinos en el departamento de Guatemala.

Tabla II. **Disminución de basureros clandestinos**

| <b>Año</b> | <b>Número de Basureros clandestinos</b> |
|------------|---|
| 1992       | 474 basureros                           |
| 1994       | 468 basureros                           |
| 1996       | 487 basureros                           |
| 1997       | 475 basureros                           |
| 1998       | 450 basureros                           |
| 2000       | 315 basureros                           |

Ecuación utilizada con datos del inciso 4.3.1. Del capítulo 4 para estimar crecimiento potencial de desechos. Ecuación obtenida a través del software Microsoft Excel 2013.

$$Y=208.5x+1887.5$$