



|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>ÁREA METROPOLITANA<br>DE BUCARAMANGA | <b>PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL<br/>ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> | UNIVERSIDAD<br>INDUSTRIAL DE<br>SANTANDER  |
| III Informe Proyectos Seleccionados a nivel de Prefactibilidad  |   |   |

#### **4.4.6 EVALUACIÓN DE DESARROLLOS TECNOLÓGICOS DE PUNTA PARA ELIMINACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.**

##### **4.4.6.1 OBJETIVOS**

###### **OBJETIVO GENERAL.**

Valorar el tratamiento y aprovechamiento de los residuos sólidos generados en el Área Metropolitana de Bucaramanga, a través de procesos que involucren desarrollos tecnológicos de punta, como alternativa costo eficiente en el componente de tratamiento y aprovechamiento del sistema integral de residuos sólidos

###### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Evaluar desde el punto de vista técnico, económico y ambiental, la viabilidad de aplicación de desarrollos tecnológicos de punta, en el tratamiento de residuos sólidos del Área Metropolitana de Bucaramanga.
- Comparar las diferencias (ventajas y desventajas) de esta alternativa frente a la disposición de residuos sólidos en relleno sanitario.
- Determinar la incidencia de la aplicación de estas alternativas, en la tarifa del servicio de aseo al usuario.



##### **4.4.6.2 IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA**

Los cada vez mayores volúmenes de residuos sólidos generados por el Área Metropolitana de Bucaramanga, y la ineficaz alternativa de disponerlos en un relleno sanitario, generan no sólo problemas de índole ambiental sino también social, debido al rechazo natural de los pobladores de las zonas cercanas al sitio de disposición final. Adicionalmente, la alternativa actual de disposición final, limita la posibilidad de agregar valor a materiales, que en su mayoría no han cumplido con su ciclo de vida, y que pueden aportar al sistema económico valor agregado.

##### **4.4.6.3 ALCANCE**

El proyecto se formula en un horizonte igual al del Plan de gestión Integral de Residuos Sólidos del Área Metropolitana de Bucaramanga, y comprende la evaluación de la viabilidad de aplicar diferentes procesos de aprovechamiento y valorización energética de los residuos sólidos urbanos, desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

Inicialmente, la evaluación consiste en determinar las características técnicas de los procesos a estudiar, y la posibilidad de su aplicación en el Área Metropolitana de Bucaramanga. La evaluación ambiental, busca identificar al nivel de revisión bibliográfica, las ventajas y desventajas de estas alternativas con respecto a la disposición en relleno sanitario.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>ÁREA METROPOLITANA<br>DE BUCARAMANGA | <b>PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL<br/>ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> | UNIVERSIDAD<br>INDUSTRIAL DE<br>SANTANDER  |
| III Informe Proyectos Seleccionados a nivel de Prefactibilidad  |   |   |

Finalmente, en términos económicos se pretende constatar que las alternativas sean costo eficiente, y su incidencia real en el costo total del servicio de aseo, para el usuario.

#### 4.4.6.4 ALTERNATIVAS EVALUADAS

Las alternativas evaluadas para el aprovechamiento de residuos sólidos, corresponden a procesos de valoración energética, alternativas con alta potencialidad de utilización, dado su doble aplicabilidad en la disminución de los volúmenes de residuos a ser dispuestos, y en la generación de energía. Los procesos evaluados, están soportados en el tratamiento térmico y de conversión biológica de los residuos.

De esta manera, como parte de los procesos de conversión biológica, se analiza el proceso de biogeneración. Por su parte, se analiza los procesos de termólisis, gasificación e incineración de residuos, en lo relacionado con el procesamiento térmico.

##### ➤ TERMOLISIS

- **Descripción del proceso de termólisis**



La termólisis es un proceso basado en el concepto de valoración energética de los residuos sólidos pero con una tecnología mucho más moderna y segura; incluye instalaciones que transforman alrededor del 99% de los residuos, en gas de síntesis que puede ser utilizado para generar energía (auto abastecimiento o venta). Adicionalmente, produce materia inerte (granulados que pueden utilizarse en la construcción o en la industria metalúrgica).

Los residuos sólidos se colocan en un compactador que los reduce hasta un diez por ciento de su volumen original (una densidad de 2000kg/m<sup>3</sup>).

Con una fuerza de compresión de 1000 toneladas los residuos conforman tapones impermeables al gas y se introducen a presión en un canal de extracción de gases para luego ser sometidos a un proceso de calentamiento a temperaturas que alcanzan los 2000 °C, lo que permite separar los componentes orgánicos e inorgánicos para obtener, primordialmente, gas y materias primas minerales. Estas condiciones permiten simular las condiciones del centro de la tierra para producir una fusión, en la cual, ningún tipo de material comúnmente hallado en los residuos pasa inalterado. El gas de síntesis se somete a limpieza total en varias etapas, recuperándose sales industriales, azufre y agua pura.

El gas puede ser utilizado para generar energía, así de cada tonelada de basura se obtienen más de 400 KW. Durante el proceso no hay reformación de compuestos orgánicos. Igualmente, no se presenta formación de óxidos, por lo que no son necesarios filtros de control.

La mezcla de combustible sólido (carbón e hidrocarburos), presenta un poder calorífico comprendido entre 4.000 y 6.000 Kcal/kg. y puede ser utilizado como combustible en calderas convencionales con quemadores adaptados, para producir vapor o electricidad.

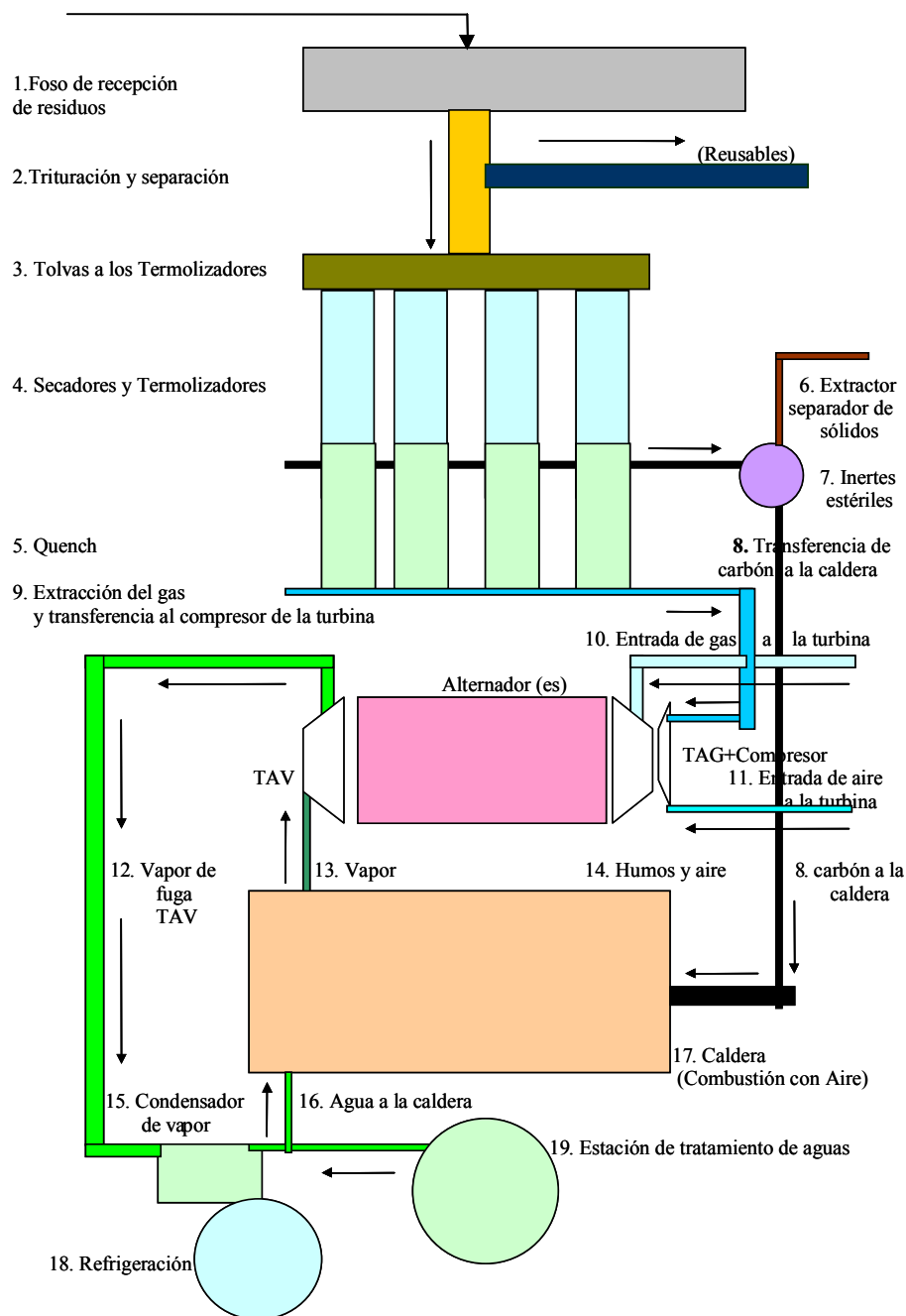
|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>AREA METROPOLITANA<br>DE BUCARAMANGA | <b>PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL<br/>ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> | UNIVERSIDAD<br>INDUSTRIAL DE<br>SANTANDER  |
| <b>III Informe Proyectos Seleccionados a nivel de Prefactibilidad</b>   |   |   |

En el caso de una utilización local, los gases de combustión, a la salida de la caldera, deben ser lavados, enfriados y desempolvados antes de ser evacuados por la chimenea.

Entre los metales y minerales resultantes del proceso, se destaca un granulado mineral que, mezclado con asfalto, se puede usar en la pavimentación de calles. La mayoría de residuos generados durante el proceso son reutilizables y pueden ser aprovechados en la industria metalúrgica.

Los combustibles (gases y sólidos) son mucho más homogéneos que los residuos incinerados, y el PCI es considerablemente más elevado, debido a que la combustión se hace en condiciones casi estequiométricas.

Finalmente los gases, los hidrocarburos y los carbones deben ser controlados antes de su utilización en los siguientes pasos de la combustión.





**Figura 1.** Módulos de tratamiento a través de termólisis.

Fuente: TERMÓLISIS Y RECICLAJE DE COLOMBIA ESP

- **Estado y oferta tecnológica**

La termólisis es una tecnología de punta probada, que en los últimos años ha dado alta confiabilidad a la solución del problema de los residuos sólidos, a través de un moderno

|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>ÁREA METROPOLITANA<br>DE BUCARAMANGA | <b>PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL<br/>ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> | UNIVERSIDAD<br>INDUSTRIAL DE<br>SANTANDER  |
| III Informe Proyectos Seleccionados a nivel de Prefactibilidad  |   |   |

equipo térmico, que permite una valorización óptima para la recuperación de energía y de materiales reciclables.

La primera instalación (una línea de 100 t/día) funcionó en Fondo Toce (Ub - Italia), esta fue una instalación piloto que sirvió para probar en escala industrial esta tecnología de punta. Además ha sido ya probada en escala industrial 600 mg / día en mas de 5 años de funcionamiento del emplazamiento en Verbania / Fondati (Italia).

En el país, la empresa ofertante de esta tecnología es TERMÓLISIS Y RECICLAJE DE COLOMBIA ESP, quien actualmente ha dado inicio a la construcción de una planta de termólisis en Flandes y su área de influencia, en el Tolima.

#### ✓ Descripción general de la oferta

##### ➤ Construcción de la planta por cuenta del ofertante

Construcción de instalaciones modulares con capacidad para el tratamiento del total de residuos generados en el AMB y dispuesto en el actual sitio de disposición final.

Los módulos y sus dimensiones adaptados a las específicas, y complementadas con depósito de residuos y planta de purificación de aguas del proceso.

##### ➤ Generación de energía eléctrica y venta a los precios del mercado y con tarifas autorizadas.

Construcción de plantas generadoras de ciclo combinado, con capacidad de producir 20 MW<sub>h</sub>. La electricidad producida, prevé venderse en el mercado libre, teniendo en cuenta que debido a las cantidades generadas, no es necesario entrar al sistema regulado nacional de electricidad. Las tarifas serán las definidas por la CREG<sup>1</sup>



##### ➤ Negociación con instituciones internacionales, a través de proyectos MDL, del Metano no emitido.

La empresa ofertante de la tecnología, negociará con diferentes instituciones internacionales las cantidades (Ton/año) de Metano no emitido como resultado de sustitución de la alternativa de relleno sanitario para la disposición final de residuos sólidos.

En este sentido, el ofertante prevé negociar alrededor de 140 Ton/día de Metano evitado, a un precio aproximado de 10 euros/Ton.

##### ➤ Tratamiento del total de residuos entregados a la planta, por parte del sistema de recolección de residuos del Area metropolitana

<sup>1</sup> CREG= COMISION DE REGULACION DE ENERGÍA Y GAS

|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>ÁREA METROPOLITANA<br>DE BUCARAMANGA | <b>PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL<br/>ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> | UNIVERSIDAD<br>INDUSTRIAL DE<br>SANTANDER  |
| <b>III Informe Proyectos Seleccionados a nivel de Prefactibilidad</b>   |   |   |

Dichas plantas pueden estar ubicadas dentro del casco urbano ya que no producen emisiones como olores, ruidos y humos, por lo tanto, se optimiza la recolección de residuos reduciendo así los costos de la misma.

- Tarifas para disposición final, fijadas por la CRA<sup>2</sup>

La oferta, también garantiza mantener las tarifas de disposición final para los usuarios del servicio, dichas tarifas, podrán presentar eventualmente un descuento adicional hasta del 10%.

#### ✓ **Ventajas y desventajas de la alternativa frente a la disposición en relleno sanitario**

##### Ventajas

- No se ha comprobado impacto ambiental significativo, produce valores de emisión de sustancias dañinas (dioxinas, furanos y metales pesados) muy por debajo de los límites especificados por las leyes internacionales, no produce olores ni ruido.
- Bajos requerimientos de espacio.
- Los productos que genera pueden ser reutilizados en la industria

##### Desventajas

- Fundamentalmente elevados costos de adquisición y mantenimiento.
  - Limitaciones en el tratamiento de escombros y residuos de demolición de obras civiles y construcción

#### ✓ **Costos Aproximados**

La tecnología aplicada en termólisis, permite el procesamiento modular. Dichos módulos, presentan mínimos requerimientos de áreas (alrededor de 2.2 ha/módulo). Estos módulos tienen un costo aproximado de 30 millones de dólares (US\$ 30.000.000) cada uno y pueden generar alrededor 20 MW<sub>h</sub>.

De acuerdo con la información suministrada por el ofertante de la tecnología, los ingresos están representados por la venta de energía eléctrica, la tarifa del servicio de disposición final cobrada a los usuarios, y la venta de emisión de gases de efecto invernadero evitados (MDL).

De acuerdo con la información suministrada, la empresa ofertante prevé negociar alrededor de veinte (20) toneladas diarias de gases evitados.

<sup>2</sup> CRA= COMISION DE REGULACION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO

## ➤ BIOGENERACIÓN

### • Descripción del proceso

Alternativa para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos, en la que se combinan procesos aeróbicos (que funcionan con oxígeno) y anaeróbicos (sin presencia de oxígeno), y se obtienen productos como abono agrícola (compost) y gas biológico (60% metano, 40% anhídrido carbónico), que puede ser utilizado como combustible.

El gas biológico (biogás), puede emplearse para producir energía térmica, eléctrica o en sistemas de cogeneración. **El metano tiene un poder calorífico cercano a las 5.500 kcal/M3**

**Tabla 1.** Composición media del Biogás y PCI de sus componentes (15,55 °C y 1 atm)

| Componente                        | Porcentaje | Poder calorífico    |
|-----------------------------------|------------|---------------------|
| CH <sub>4</sub>                   | 60-80%     | 8.145 kcal/m3       |
| CO <sub>2</sub>                   | 20-40%     | -                   |
| H <sub>2</sub>                    | 1-3%       | 2.441 kcal/m3       |
| O <sub>2</sub>                    | 0,1-1%     | -                   |
| CO                                | 0-0,1%     | 2.868 kcal/m3       |
| N <sub>2</sub>                    | 0,5-3%     | -                   |
| SH <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> | 0,5-1%     | 5.552 kcal/m3 (SH2) |
| H <sub>2</sub> O                  | Variable   | -                   |

Para que el proceso tenga lugar con la máxima eficiencia se deben controlar una serie de factores tales como pH, alcalinidad, acidez volátil, temperatura, nutrientes, inhibidores y tiempos de residencia.

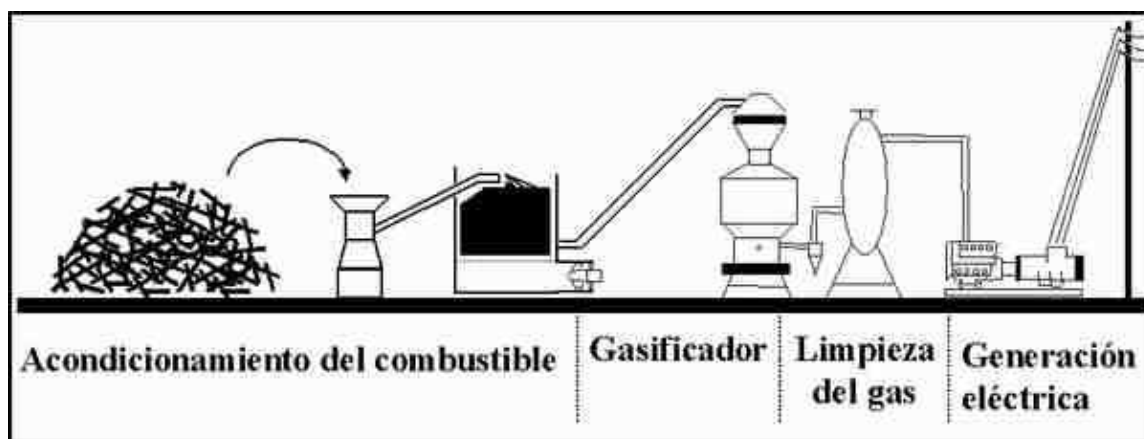
En los últimos años se han desarrollado diversos procesos, predominantemente de digestión anaeróbica, por la posibilidad de recuperar metano, generando un material estabilizado similar al compost producido aeróbicamente.

El proceso consiste en las siguientes etapas:

- Transporte, recepción, acondicionamiento y depuración de los residuos.
- Separación de los componentes orgánicos en reactor aeróbico.
- Separación de los sólidos y líquidos en un sistema de filtro – prensa
- Sistema de tratamiento de compuestos sólidos para la producción de abonos.
- Producción de biogás en reactor anaeróbico.
- Almacenamiento de gas en un tanque.

- Sistema de tratamiento y reciclaje de aguas residuales. Al final del período, el agua por sus pocas impurezas orgánicas, se bombea a la planta de tratamiento para ser reutilizada en el reactor aeróbico.

En términos generales, un sistema de biogeneración, consta de las etapas que se describen en la siguiente figura.



**Figura 2 Diseño o esquema tipo de un sistema de Biogeneración**

- **Estado y oferta tecnológica**

En el ámbito mundial, cada vez con más frecuencia, el biogás obtenido de forma natural o bien en plantas de tratamientos de agua y residuos esta siendo utilizado como alternativa a otras fuentes de energía y calor.



En países como el Reino Unido y España, entre otros, existen empresas exclusivamente dedicadas a la generación de energía a partir de residuos, especializadas en procesos que adicionalmente realizan el secado de lodos de tratamiento, purines y gallináceas, cítricos y en general residuos con alta humedad.

Existen programas para la producción de biogás en el Reino Unido, Dinamarca, Francia, Finlandia, Austria, Haití, la India, Nepal y otros. En Amiens (Francia), una planta trata 72000 toneladas al año de rsm.

Otra situada cerca de Grenoble procesa 8000 toneladas al año. Algunas ONG en colaboración con la fundación canadiense Hunger han promovido la instalación de más de 2000 plantas de producción de biogás en la india.

En el país no se tienen experiencias en el desarrollo de este tipo de alternativas, ni instituciones conocidas que formulen propuestas para el desarrollo. Sin embargo, se recomienda estudiar la posibilidad de implantación, dentro del análisis de alternativas, en un estudio de factibilidad para poblaciones mayores de 60.000 habitantes debido a la complejidad del proceso y a la utilización de personal especializado.



|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>AREA METROPOLITANA<br>DE BUCARAMANGA | <b>PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL<br/>ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> | UNIVERSIDAD<br>INDUSTRIAL DE<br>SANTANDER  |
| <b>III Informe Proyectos Seleccionados a nivel de Prefactibilidad</b>   |   |   |

Por otra parte, este tipo de tecnología podría utilizarse en grupos de municipios pequeños pero que puedan lograr una cantidad de residuos tal que hagan viable el proceso desde el punto de vista técnico y económico.

### ✓ **Ventajas y desventajas de la alternativa frente a la disposición en relleno sanitario**

#### Ventajas



- Es un proceso completamente natural, que no requiere químicos ni aditivos.
- El compost es un valioso producto aplicable para agricultura orgánica.
- El biogás producido se convierte en una alternativa energética interesante, por cuanto puede utilizarse como combustible para calderas y hornos, motores de combustión, plantas termoeléctricas y como combustible para vehículos.
- Con relación a un relleno sanitario
  - ✓ Disminuye la generación de olores.
  - ✓ Elimina la emisión de gas metano resultante de la descomposición de los residuos orgánicos, y uno de los principales generadores del efecto invernadero
  - ✓ Disminuye considerablemente los índices de contaminación hídrica.
  - ✓ Reduce sustancialmente los costos de operación.
  - ✓ Incrementa su vida útil.

#### Desventajas

- El largo período del proceso de tratamientos de los residuos limita la capacidad de tratamiento de las plantas.
- Por estar limitado a los residuos orgánicos y similares, hace necesaria la separación previa de los demás residuos domésticos, y requiere un sistema de transporte independiente.
- Aplicable específicamente a los residuos orgánicos y similares. La calidad de los productos resultantes puede ser de excelentes características, en la medida en que se asegure una mejor selección del material orgánico
- Se requiere instalar alarmas detectoras de biogás.

### ✓ **Costos aproximados de la tecnología**

No se encuentran datos disponibles de costos aproximados de esta tecnología. Sin embargo, los costos de producción de una planta de abonos y un generador de electricidad por biogas, pueden dar una idea de las inversiones necesarias.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>ÁREA METROPOLITANA<br>DE BUCARAMANGA | <b>PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL<br/>ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> | UNIVERSIDAD<br>INDUSTRIAL DE<br>SANTANDER  |
| III Informe Proyectos Seleccionados a nivel de Prefactibilidad  |   |   |

## ➤ INCINERACIÓN

Los procesos de incineración de residuos sólidos urbanos, aunque técnicamente válidos, tanto para su eliminación como para su valorización energética, generan un importante rechazo social, motivado principalmente por la contaminación ambiental provocada por sustancias como dioxinas, furanos y diferentes metales pesados que pueden ser emitidos por estas instalaciones. En respuesta a esta contaminación, la normativa vigente, cada vez más estricta en el ámbito internacional, limita las emisiones de las incineradoras, por lo que se han desarrollado tecnologías para mejorar los sistemas de combustión y de depuración de gases. A pesar de esto, los sistemas de filtrado y los controles de emisiones, no consiguen un nivel cero emisiones a la atmósfera.

Un modelo ideal de gestión de residuos en términos de incineración, es aquel que cumple con tres parámetros principales:

- Valorización energética de la fracción considerada rechazo en estos procesos.
- Vertido controlado de las escorias resultantes.

### • Descripción del proceso

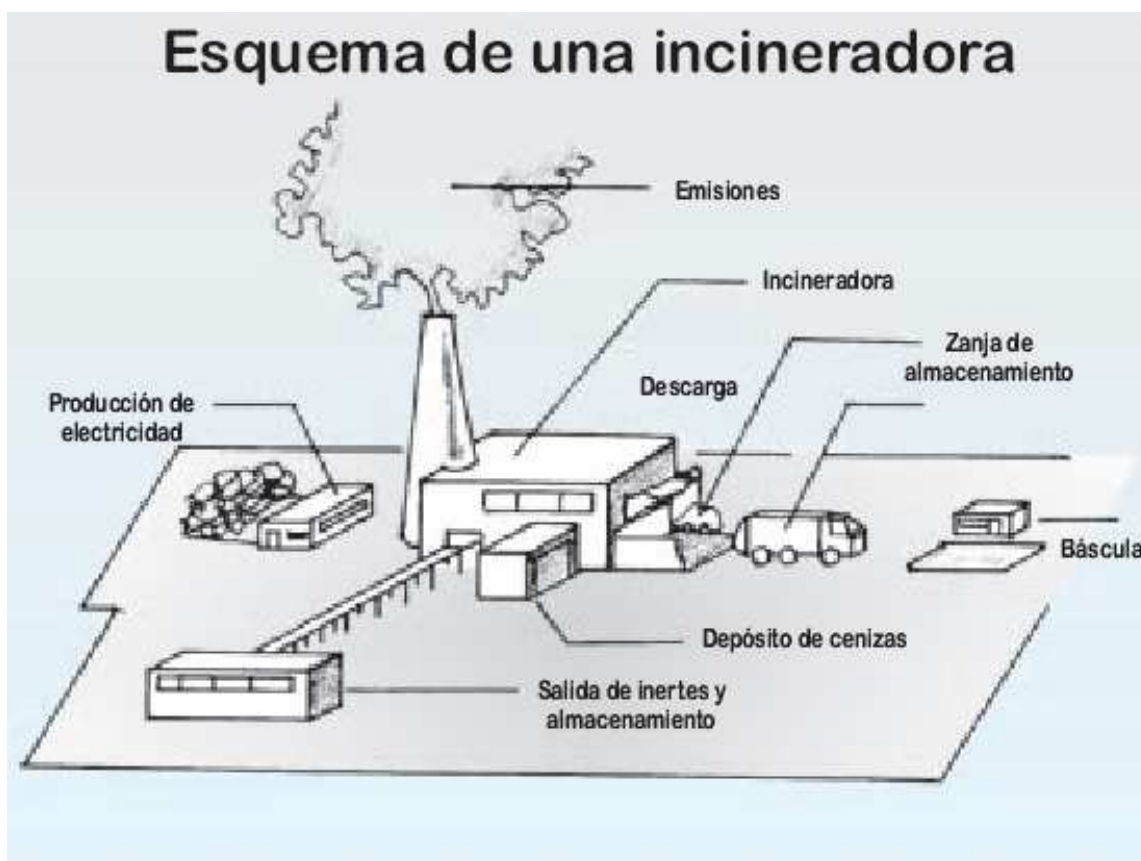
La incineración es el proceso de reducción de los residuos sólidos (del orden de 90% en volumen y 75% en peso) a material inerte (escoria y cenizas) y a productos oxidados mediante la combustión. Dicho proceso provoca la descomposición de las sustancias por vía térmica, mediante la oxidación a temperaturas elevadas (760°C o mas) destruyendo la fracción orgánica de los residuos y reduciendo su volumen considerablemente.

La incineración de residuos requiere de un gran dominio de las condiciones de combustión. Una buena combustión se rige por la regla llamada de las "3 T": temperatura, tiempo de residencia y turbulencia. La mala regulación de uno de estos parámetros puede generar condiciones inadecuadas de funcionamiento.

Debido a la composición heterogénea de la basura doméstica, el proceso de combustión se desarrolla en condiciones de exceso de aire (la normativa internacional, prevé un mínimo del 6% de oxígeno en exceso). Durante la combustión, el carbono que contiene la basura se transforma en Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>). De esta forma, un defecto de oxígeno podrá generar monóxido de carbono (CO) por combustión incompleta del carbono, y así mismo, la generación de partículas sin quemar y productos incompletos de combustión (PIC).

Para la aplicación de este sistema de tratamiento, es necesario que los residuos a tratar, posean un poder calorífico inferior (PCI), superior a las 1400 kcal/kg, a fin de asegurarse la autocombustión. En los incineradores de pequeña capacidad, hay que incorporar combustible adicional. Actualmente, en Europa se tiene valores promedio de PCI de 1.500 a 2.200 kcal/kg mientras que en Estados Unidos, se encuentran valores de 2.500-3.500 kcal/kg



Los residuos urbanos son descargados en una fosa de almacenamiento temporal, en depresión atmosférica respecto al exterior con el objeto de evitar la aparición de malos olores en las zonas próximas a la instalación. Posteriormente, son conducidas a un horno en donde se queman a una temperatura mínima de 850 °C, durante al menos 2 segundos. en presencia de un 6% de oxígeno, como mínimo después de la última inyección de aire de combustión. La Figura 3 muestra gráficamente un esquema operativo de una planta incineradora.



**Figura 3. Diagrama esquemático de una planta incineradora.**

Los elementos y equipos principales que configuran un incinerador de residuos domésticos son los siguientes:

- a) una zona de descarga y almacenamiento
- b) una zona de alimentación del horno, mediante una tolva, normalmente
- c) un horno y su cámara de combustión para asegurar una completa destrucción de los compuestos orgánicos

|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>AREA METROPOLITANA<br>DE BUCARAMANGA | <b>PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL<br/>ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> | UNIVERSIDAD<br>INDUSTRIAL DE<br>SANTANDER  |
| III Informe Proyectos Seleccionados a nivel de Prefactibilidad  |   |   |

**d)** zona de recogida y extracción de escorias

**e)** un sistema de refrigeración y la caldera para la recuperación de energía (en incineradores con capacidad > 140 t/día)

**f)** una zona de depuración de los gases de combustión

**g)** una zona de almacén de escorias y cenizas, u otros productos recogidos en los procesos de depuración

**h)** y la zona final de evacuación de los gases depurados a la atmósfera (ventilador y chimenea)

La temperatura de combustión en los incineradores alimentados sólo con residuos es alrededor de 760°C en el horno propiamente dicho (insuficiente para quemar e incluso para fundir el vidrio) y de mas de 870°C en la cámara de combustión secundaria, temperaturas necesarias para evitar el olor desprendido por una combustión incompleta y la generación de gases tóxicos.

Las guías para incineradores de combustión en masa recomiendan una temperatura de horno de 980°C para una combustión óptima.

El uso de combustibles complementarios permite alcanzar temperaturas de hasta 1600°C, las cuales reducen el volumen en 97% y convierten el metal y el vidrio en cenizas.

El horno no sólo constituye el elemento soporte de la combustión (bien sea mediante parrillas o mediante horno rotativo), sino que también, produce el avance de las basuras y su volteo, permitiendo la mezcla del aire primario con los residuos a fin de garantizar una buena mezcla del combustible y del comburente.

En la zona del horno se pueden considerar tres fases:

**1)** fase de secado, su duración depende del calor radiactivo existente, del grado de mezcla de la basura y de su aireación

**2)** fase de combustión propiamente



**3)** fase de terminación o postcombustión, la parrilla esta recubierta de las escorias

La cámara de postcombustión tiene como funciones principales:

- permitir la mezcla íntima entre el aire y los gases parcialmente quemados, a fin de obtener una combustión completa.
- por radiación, calentar y secar las basuras y permitir, por su gran inercia térmica, el mantenimiento de la temperatura necesaria para la correcta combustión de los gases.

Entre los tipos de hornos para residuos municipales se pueden señalar esencialmente:

Hornos de parrilla (de avance, de rodillos, etc.)

|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>ÁREA METROPOLITANA<br>DE BUCARAMANGA | <b>PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL<br/>ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> | UNIVERSIDAD<br>INDUSTRIAL DE<br>SANTANDER  |
| III Informe Proyectos Seleccionados a nivel de Prefactibilidad  |   |   |

## Hornos rotativos

- Lecho fluidizado: esta tecnología es muy utilizada en Japón, en Europa es especialmente Suecia donde más se ha aplicado (es un procedimiento avanzado utilizado en plantas termoeléctricas de carbón pulverizado, lodos y en la combustión de biomasa).

En los gases de combustión de la incineración de residuos urbanos se pueden encontrar:

- gases tales como el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$  y el oxígeno no utilizado en la combustión;
- partículas de polvo más o menos finas cuya concentración antes de su depuración es del orden de 5 a 10  $\text{g/Nm}^3$ . Estas partículas de polvo están constituidas esencialmente por sales minerales o metálicas, y en ocasiones por partículas inquemadas;
- gases procedentes de la composición de los residuos incinerados, principalmente se trata de cloro, ácido clorhídrico, óxidos de azufre y de nitrógeno, y de compuestos orgánicos inquemados.

El contenido en agua de los residuos es del orden de 50%. Esta agua consume calorías en su evaporación, pero tiene influencia sobre los equilibrios químicos implicados en las reacciones de combustión. De esta forma, cuanto más aumentan la concentración del vapor de agua y la temperatura, más disminuye la concentración en cloro gaseoso.



Las escorias (cerámicas, tierras, vidrio, objetos metálicos, etc.) se suelen enfriar con agua y se extraen del foso de descarga mediante transportadores continuos. Están formadas, principalmente, por óxidos metálicos y silicatos, además de cantidades menores de carbonatos, cloruros y sulfatos, así como aluminio, calcio, sodio, y hierro. La fracción metálica férrica contenida en las escorias se debe extraer y reciclar, mejorando la manejabilidad y utilización posterior de la fracción de escorias restante.

Las cenizas o residuos de depuración están compuestas también, en gran parte, de óxidos metálicos y silicatos. Tienen la consideración de residuos peligrosos y deben ser depositados en un vertedero controlado. Estamos hablando de un 2-4% de la cantidad de residuos incinerados.

En el diseño de las calderas de recuperación es fundamental la selección del tipo de caldera a utilizar, en función de los requisitos de operación (balance térmico de la instalación), y los espacios disponibles. El objetivo debe ser garantizar un funcionamiento factible y continuo de la caldera, con el óptimo aprovechamiento del calor de los gases de combustión y con un mínimo consumo energético de los equipos auxiliares, cumpliendo, a su vez, con las limitaciones impuestas en las emisiones a la atmósfera.

Son esencialmente dos los factores que determinan el aprovechamiento del calor generado en proceso de incineración:

- La recuperación del calor para la generación de la corriente eléctrica, de vapor de producción o de vapor de calefacción con el fin preliminar de recuperar el potencial

|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>AREA METROPOLITANA<br>DE BUCARAMANGA | <b>PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL<br/>ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> | UNIVERSIDAD<br>INDUSTRIAL DE<br>SANTANDER  |
| III Informe Proyectos Seleccionados a nivel de Prefactibilidad  |   |   |

energético que tienen ciertos residuos y además reducir los costes de explotación de las propias plantas de incineración.

- El enfriamiento de los gases de combustión producidos en el horno a temperaturas aceptables para su depuración y descontaminación posteriores.
- Un balance térmico promedio en un incinerador puede tener los siguientes valores, base de cálculo respecto al 100% de la entrada:
  - 18% de pérdidas en la zona de combustión y caldera
  - 0,8 % de pérdidas en el turbo generador
  - 48,2 % en la refrigeración (aerocondensador)
  - 6% autoconsumo
  - 27 % producción de energía eléctrica

- **Estado y oferta tecnológica**

Tecnología con más de cien años de antigüedad.

En vista de la escasez de terrenos y de la importancia continua del valor calórico de los residuos, ha aumentado cada vez más la popularidad de la incineración con la posibilidad de recuperar energía.



Tecnológicamente es recomendable el horno rotatorio, por cuanto es más accesible al nivel de desarrollo de la ingeniería del país, lo que facilita el mantenimiento y la consecución de repuestos, además tolera cambios en la composición de los residuos a incinerar.

Se han desarrollado diferentes tecnologías de incineración adaptadas y aplicables a las diversas características de los residuos y a sus propiedades físicas. Se restringe su uso a residuos con bajo contenido de humedad, o alta proporción de sólidos fijos. En estados Unidos, cerca de 300 plantas queman en incineradores casi 4 millones de toneladas de residuos al año.

✓ **Ventajas y desventajas frente a relleno sanitario**

**Ventajas**

- Reduce el volumen de los residuos aproximadamente en 90% del original.
- La posibilidad de recuperación de energía en forma de calor es cada vez más popular, esto hace que se disminuyan los costos de operación de los equipos descontaminantes.
- Los residuos que se queman sólo para reducir su volumen (sin recuperación de energía), no necesitan combustible auxiliar, excepto para el arranque.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>AREA METROPOLITANA<br>DE BUCARAMANGA | <b>PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL<br/>ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> | UNIVERSIDAD<br>INDUSTRIAL DE<br>SANTANDER  |
| <b>III Informe Proyectos Seleccionados a nivel de Prefactibilidad</b>   |   |   |

- Requieren relativamente poco espacio, en comparación con el requerido para un relleno sanitario.
- Es la mejor opción para el tratamiento de residuos altamente persistentes, tóxicos e inflamables, como es el caso de plaguicidas, solventes, aceites no recuperables y diversos productos farmacéuticos.

#### Desventajas

- Necesitan de equipos de control de emisiones gaseosas, en función al tipo y toxicidad de los residuos, lo que encarece su instalación.
- Los costos de adquisición y operación son altos. Esto limita el uso de incineradores reflejando además una tarifa de manejo y tratamiento de residuos mas elevada.
- Restricciones en cuanto a su localización, según las normas ambientales (decreto 948 de 1995) ningún municipio o distrito podrá, dentro del perímetro urbano, autorizar el establecimiento o instalación de una fuente fija de emisión de contaminantes al aire en zonas distintas de las habilitadas para usos industriales.
- Si su objeto es la producción de vapor de agua o el contenido de residuos es insuficiente, es necesario un combustible complementario.
- Deben satisfacer los estándares de emisión fijados por las normas y ceñirse a los requerimientos de permisos expedidos por autoridades ambientales.
- La eliminación de residuos líquidos del drenaje de pisos, el agua de extinción y el efluente de lavadores, son un problema, al igual que la descarga de cenizas por metales pesados.
- La extracción de partículas finas tóxicas antes de que el gas sea emitido a la atmósfera es un proceso difícil.



#### ✓ **Costos aproximados**

De acuerdo con información reportada por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA), la alternativa tecnológica de incineración de residuos domiciliarios, presenta altos costos de adquisición y operación.

Según estudios en diferentes regiones, donde hace presencia la agencia, se han reportado costos totales diferenciados en costos de inversión, que asciende a valores cercanos a los *145.000 U\$/ Ton*; y los costos de operación, cercanos a *U\$ 90/Ton*.

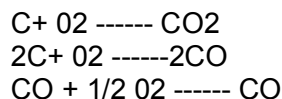
#### ➤ **GASIFICACIÓN**

La gasificación es un proceso para la transformación térmica de materias primas regenerativas y desechos en el que un sustrato carbonoso (residuo orgánico) es transformado en un gas combustible de bajo poder calorífico, mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura determinada en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno y/o vapor de agua). Las sustancias utilizadas se descomponen térmicamente, después se reforma el gas generado con vapor sobrecalentado y se limpia la mezcla de gas producida

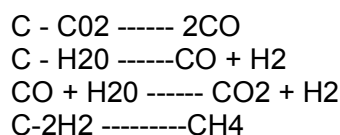
|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>ÁREA METROPOLITANA<br>DE BUCARAMANGA | <b>PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL<br/>ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> | UNIVERSIDAD<br>INDUSTRIAL DE<br>SANTANDER  |
| III Informe Proyectos Seleccionados a nivel de Prefactibilidad  |   |   |

Las principales reacciones químicas son:

### Exotérmicas



### Endotérmicas



El resultado del proceso es un gas combustible de bajo poder calorífico entre 5.000 y 5.800 KJ/Kg (1.200-1.400 kcal/kg) con la composición presentada en la Tabla 2.

### • Descripción del proceso

La elección del método para llevar a cabo el proceso de gasificación depende de varios factores como el tamaño y forma del residuo, el aprovechamiento de la energía del gas producido que vaya a hacerse y, por supuesto, de los condicionantes económicos.

Por su parte el aprovechamiento energético de este gas pobre puede hacerse quemándolo inmediatamente en una cámara de combustión, o introduciéndolo en una turbina de gas o un motor de combustión interna

### Existen dos tipos de proceso:

#### • Lechos Fijos

##### Up-Draft

Alta eficiencia  
Alquitrán en el gas resultante



##### Down-Draft

Menor cantidad de alquitrán  
Difícil acceso

#### • Lechos Fluidizados

Burbujeantes  
Buen control de temperatura  
Fácil escalado



|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>AREA METROPOLITANA<br>DE BUCARAMANGA | <b>PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL<br/>ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> | UNIVERSIDAD<br>INDUSTRIAL DE<br>SANTANDER  |
| III Informe Proyectos Seleccionados a nivel de Prefactibilidad  |   |   |

Alta capacidad

Circulante

Alta temperatura

Poco alquitrán en el gas

Material costoso

Después de la reformación se obtiene un gas de producto que consiste de 50 – 60 % en volumen de hidrógeno. Los componentes secundarios del gas de producto son esencialmente dióxido de carbono, monóxido de carbono y una cantidad menor de metano residual, véase la Tabla 1. El poder calorífico del gas es de aproximadamente 13 MJ/Nm<sup>3</sup>. La finalidad del desarrollo del procedimiento fue obtener un gas rico en hidrógeno y, por consiguiente, apropiado para la operación de motores de gas y para la generación de energía eléctrica. Actualmente se está analizando la aplicación del gas de producto para la obtención de hidrógeno altamente puro que puede usarse en celdas de combustible para la producción de corriente descentralizada. Además, el gas es apropiado para la generación de combustibles líquidos.

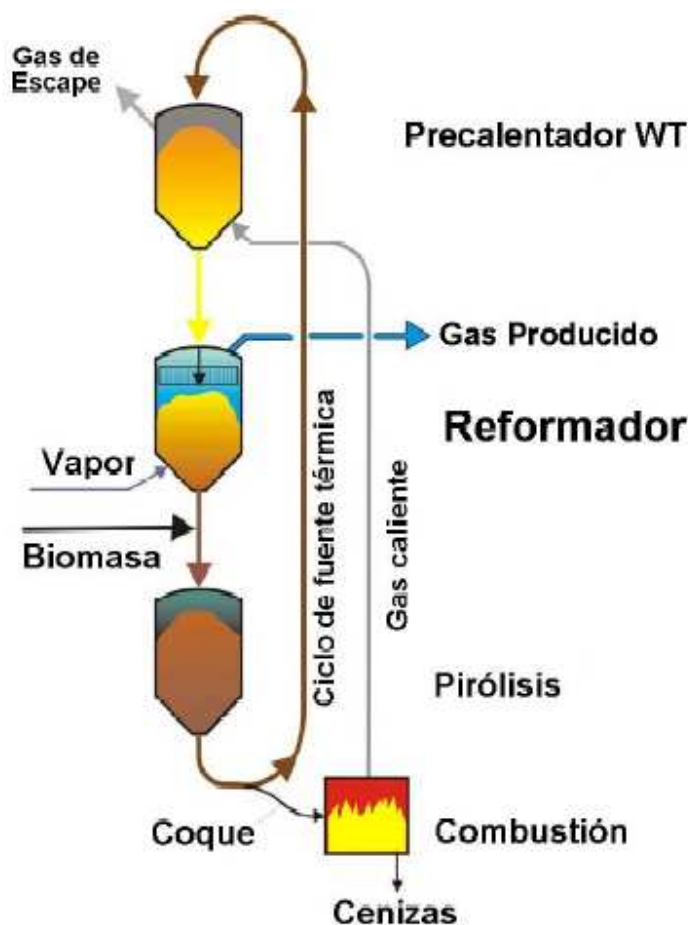
**Tabla 2.** Componentes del gas combustible obtenido en el proceso de Gasificación

| <i>Componente</i> | <i>Porcentaje</i> |
|-------------------|-------------------|
| CO                | 20-26             |
| CH <sub>4</sub>   | 1-4               |
| N <sub>2</sub>    | 50-60             |
| H <sub>2</sub>    | 5-10              |
| CO <sub>2</sub>   | 4-8               |
| CnHm              | 0.1-0.5           |

Fuente: Selección De Tecnologías De Manejo Integral De  
Residuos Sólidos Guía 2002 Ministerio Del Medio Ambiente

### Diagrama del Proceso

A continuación, la Figura 4, presenta un diagrama del proceso de gasificación de residuos sólidos orgánicos.





**Figura 4.** Esquema de gasificación de residuos sólidos.

Fuente: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)

#### • Estado y oferta tecnológica

La gasificación presenta no sólo un gran interés energético debido al elevado rendimiento, sino también medioambiental ya que permite producir energía limpia a partir de la eliminación de residuos sin emisión de gases durante el proceso. Se produce una energía renovable, almacenable y transportable, lo que facilita nuevas aplicaciones.

La tecnología es teóricamente extrapolable a todo tipo de residuos que contengan carbono, es decir material orgánico. En algunos países desarrollados, la materia prima utilizada como combustible, se obtiene de los subproductos de las empresas agroalimentarias y explotaciones agrícolas, de la limpieza de bosques, evitando su combustión incontrolada, y de la recolección selectiva doméstica e industrial de los residuos.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>ÁREA METROPOLITANA<br>DE BUCARAMANGA | <b>PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL<br/>ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> | UNIVERSIDAD<br>INDUSTRIAL DE<br>SANTANDER  |
| <b>III Informe Proyectos Seleccionados a nivel de Prefactibilidad</b>   |   |   |

En plantas piloto se ha obtenido, en la transformación de biomasa un gas pobre de dióxido de carbono y nitrógeno con un contenido energético de 13 MJ por metro cúbico normal (M<sup>3</sup>n).

Además permite potenciar una aplicación racional para obtener energía renovable, a partir De los cultivos energéticos, es decir, poder cultivar, hacer crecer y autoabastecernos de energía ecológica gracias a la fotosíntesis generada en la radiación solar.

Esta tecnología, está siendo ampliamente utilizada al nivel de empresas y municipios en el reino unido, Brasil, España Finlandia, entre otros. Algunas de las plantas comerciales del Reino Unido son de este tipo y suplen los sistemas de calefacción de algunos distritos o incluso suplen la calefacción y la electricidad en lugares como hospitales.

Debido a sus bajas emisiones atmosféricas, comparadas con las de los sistemas de incineración con oxígeno adicional, los gasificadores de lecho fijo vertical y de lecho fluidizado pueden tener un mayor potencial para su desarrollo en el futuro.



En el país no se tienen experiencias en el desarrollo de este tipo de alternativas, ni instituciones conocidas que formulen propuestas para su desarrollo. Tampoco se conocen estudios conducentes a determinar la viabilidad de este tipo de tecnologías.

Al nivel de Latinoamérica, existe una empresa ofertante de esta tecnología: D.M.2 Verwertungstechnologien Dr. Mühlen GmbH &Co. KG, Herten. Esta empresa tiene sede en México.

### ✓ **Ventajas y desventajas frente a relleno sanitario**

#### Ventajas

- La gasificación no emite gases durante el proceso, su uso en motores de explosión, debe ser muy limpio para no perjudicar su funcionamiento. Las emisiones se sitúan en el tubo de escape del motor.
- Eficiencia en la recuperación de energía
- La escasez de oxígeno y temperatura moderada (800 °c) permite que los componentes Inorgánicos, sobre todo metales pesados no se volatilicen y queden retenidos en las cenizas.
- La improbable presencia de compuestos halogenados, dioxinas y furanos, difícilmente sintetizados por la falta de oxígeno, se destruyen debido a la larga permanencia de estos gases en el reactor y la temperatura existente.
- La eliminación de olores, por cuanto el gas una vez generado es filtrado y su combustión en el motor actúa como un segundo filtro.
- La reducción de escorias vitrificadas, comparadas con un proceso de incineración.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>ÁREA METROPOLITANA<br>DE BUCARAMANGA | <b>PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL<br/>ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> | UNIVERSIDAD<br>INDUSTRIAL DE<br>SANTANDER  |
| III Informe Proyectos Seleccionados a nivel de Prefactibilidad  |   |   |

- La posibilidad de utilizar en el reactor un combustible con cualidades y características constantes, escasez de reacciones generadoras de contaminantes peligrosos, controlando el combustible en la alimentación.
- La posibilidad de introducir aditivos (como el hidróxido de cal) para corregir las emisiones y neutralizar contaminantes.

#### Desventajas

- Los costos y lo selectivo del material a ser procesado son la mayor dificultad de la tecnología.

#### ✓ Costos aproximado

La evaluación preliminar de costos de la alternativa de gasificación, se realizó tomando como punto de partida, una planta con capacidad de procesar 400 Ton/día de residuo orgánico seco (contenido de agua de aprox. 10 % en masa), y una capacidad de aproximadamente. 37 MW<sub>h</sub>, (eficiencia  $\eta$  = 40 - 42 %).

De acuerdo con la información descrita en la literatura, los costos de inversión ascienden a 4,03 millones de euros, en un periodo de 15 años, como costos capital.

Los costos operativos, para la alternativa descrita, y teniendo en cuenta la instalación de equipos, el mantenimiento y personal, se estima cercanos a 2,28 Millones de euros.



Por su parte, los costos variables relacionados con materias primas, recursos energéticos y gestión de residuos, se estiman en 1,48 millones de euros.

Finalmente, los ingresos por tarifa de disposición final, venta de la energía generada y otros servicios, se estiman en 12, 56 Millones de euros.

El cálculo modelo para el caso de utilización de esta planta, considerando 130.000 t de residuos sólido domiciliario por año, gastos de inversión y operación para la planta y una amortización del capital en 15 años, resulta en una ganancia de aproximadamente 3,7 Millones de Euro por 100.000 t de basura.

#### 4.4.6.5 INDICADORES

Teniendo en cuenta que las tecnologías evaluadas, tienen como objetivo fundamental la valoración energética de los residuos, a continuación se describen, los principales beneficios de carácter social, económico y ambiental, en términos de indicadores.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>AREA METROPOLITANA<br>DE BUCARAMANGA | <b>PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL<br/>ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> | UNIVERSIDAD<br>INDUSTRIAL DE<br>SANTANDER  |
| III Informe Proyectos Seleccionados a nivel de Prefactibilidad  |   |   |

- **De beneficio social**

Los beneficios sociales ofrecidos por la realización de esta alternativa se relacionan con la construcción de la planta y con la operación de la misma.

Durante el periodo de construcción

- ✓ Contratación temporal de mano de obra local no calificada.
- ✓ Demanda de servicios menores no especializados, como alimentación para trabajadores.
- ✓ Aumento del comercio en el área del proyecto, por el suministro local de productos varios.
- ✓ Generación de empleo calificado, técnico y administrativo.

- **De beneficio ambiental**

Beneficios ambientales que la ejecución de este proyecto, puede ofrecer:



- ✓ Reducción en los impactos negativos producidos por lixiviados y emisiones atmosféricas.
- ✓ Uso de gas combustible y reemplazo de combustibles fósiles.
- ✓ Tecnología limpia y generación de combustibles no fósiles
- ✓ Recuperación de metales y/o vitrificación

- **De beneficio económico**

- ✓ Generación de energía eléctrica para su aprovechamiento.
- ✓ Reutilización de los residuos, como materias primas en otros procesos productivos

#### **4.4.6.6 CRONOGRAMA**

A continuación, se describen en términos generales, las actividades necesarias para el análisis y elección de alternativas de punta en el tratamiento de residuos sólidos. El cronograma, presenta las actividades a desarrollar durante el periodo definido en el alcance del proyecto.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>ÁREA METROPOLITANA<br>DE BUCARAMANGA | <b>PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL<br/>ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> | UNIVERSIDAD<br>INDUSTRIAL DE<br>SANTANDER  |
| III Informe Proyectos Seleccionados a nivel de Prefactibilidad  |   |   |

|  | AÑO |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|--|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| ACTIVIDADES PERIODO 15 AÑOS  | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ESTUDIOS ADICIONALES   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| Caracterización residuos   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| Evaluación detallada de las alternativas elegibles                               |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| PRUEBAS DE PROCESAMIENTO DE RESIDUOS POR ALTERNATIVA EVALUADA                    |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA Y ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS                 |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| INGENIERIA DE DETALLE DE LA ALTERNATIVA ELEGIDA (PLANOS, BALANCES, COTIZACIONES) |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| ADECUACIONES FISICAS   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| ADQUISICION Y MONTAJE  |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| PUESTA EN MARCHA DEL PROCESO   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| MONITOREO Y CONTROL DEL PROCESO  |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |

#### 4.4.6.7 CONCLUSIONES

- Teniendo en cuenta los altos requerimientos tecnológicos y los altos costos de operación y mantenimiento, la aplicación de estas tecnologías debe realizarse previo a un análisis detallado de factibilidad integral (económico, técnico y financiero).
- Los procesos evaluados, requieren de un completo control de las emisiones atmosféricas para asegurar el cumplimiento de la normativa ambiental, así mismo es necesario, el tratamiento del material residual, garantizando una segura disposición.
- Deben tomarse medidas adecuadas para la manipulación y las condiciones de seguridad de los operarios.
- Los procesos básicamente térmicos tienen costos de inversión más altos que la mayoría de los métodos de tratamiento, en gran parte debido a los altos costos de los sistemas de limpieza de gas que pueden representar un tercio del coste de la instalación.
- La posibilidad de recuperación de los materiales, calor o energía de la combustión de residuos puede reducir los gastos. La ubicación de la instalación, y su proximidad a centrales de calor o energía, determinarán la opción de recuperación.
- La complejidad de estas tecnologías requiere personal experto y formado para diseñar, construir y manejar las instalaciones