

**TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE EQUIPOS DE VENOCLISIS, BOLSAS TIPO  
VIAFLEX Y GUANTES QUIRÚRGICOS DENTRO DEL MARCO DE LA  
PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA < PML > COMO CONTRIBUCIÓN AL  
DESARROLLO SOSTENIBLE EMPRESARIAL**

**ADOLFO LEÓN SÁNCHEZ CALDERÓN**  
**Ingeniero Químico**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES**  
**MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE**  
**MANIZALES**  
**2010**

**TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE EQUIPOS DE VENOCLISIS, BOLSAS TIPO  
VIAFLEX Y GUANTES QUIRÚRGICOS DENTRO DEL MARCO DE LA  
PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA < PML > COMO CONTRIBUCIÓN AL  
DESARROLLO SOSTENIBLE EMPRESARIAL**

**TESIS DE GRADO  
ADOLFO LEÓN SÁNCHEZ CALDERÓN**

**ASESOR  
Magister DIEGO HERNÁNDEZ GARCÍA**

**DIRECTOR DE LINEA  
Dr CIRO ALFONSO SERNA MENDOZA**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE  
MANIZALES  
2010**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Manizales, Caldas**

## DEDICATORIA

- A la memoria de mi padre Octavio de Jesús Sánchez Taborda
- A mi madre Ana Leída Calderón de Sánchez.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Corporación Autónoma Regional de Caldas-CORPOCALDAS

A la empresa C.I. PLASTIGOMA S.A.

Al laboratorio de microbiología de la Universidad Católica -INGECAL

A la Empresa Social del Estado ASSBASALUD

Al Magísteres Diego Hernández García-Universidad de Manizales

Luis Alberto Vargas- Universidad de Manizales

Ricardo Álvarez León- Universidad de Manizales

A la ingeniera Mariela Londoño Silva –CORPOCALDAS

Al Dr. Ciro Alfonso Serna Mendoza- Universidad de Manizales

## TABLA DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN .....   | 23 |
| 2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....                            | 25 |
| 2.1 Formulación del problema de investigación .....           | 25 |
| 2.2 Planteamiento del problema de investigación.....          | 25 |
| 3. OBJETIVOS .....  | 29 |
| 3.1 Objetivo general.....                                     | 29 |
| 3.1.1 Objetivos específicos .....                             | 29 |
| 4. HIPÓTESIS .....  | 30 |
| 4.1 Hipótesis de trabajo .....                                | 30 |
| 4.2 Hipótesis nula .....                                      | 30 |
| 5. JUSTIFICACIÓN .....  | 31 |
| 6. ANTECEDENTES .....   | 33 |
| 7. MARCO DE REFERENCIA .....                                  | 37 |
| 7.1 Marco Normativo .....                                     | 37 |
| 7.2 Marco teórico .....                                       | 40 |
| 7.2.1 Desarrollo Sostenible .....                             | 40 |
| 7.2.2 Producción más limpia < PML > .....                     | 42 |
| 7.2.3 Herramientas de la PML.....                             | 43 |
| 7.2.3.1 Eco-mapa.....   | 44 |
| 7.2.3.2 Eco-balances .....                                    | 44 |
| 7.2.3.3 Análisis de flujo de sustancias .....                 | 45 |
| 7.2.3.4 Matriz MED .....                                      | 45 |
| 7.2.3.5 Análisis de Ciclo de Vida.....                        | 45 |
| 7.2.4 Beneficios de la producción más limpia .....            | 46 |
| 7.2.5 Contaminación atmosférica.....                          | 46 |
| 7.2.5.1 Contaminación atmosférica por dioxinas y furanos..... | 47 |

|   |    |
|---|----|
| 7.2.6 Clasificación de los Residuos Hospitalarios y Similares.....  | 48 |
| 7.2.6.1 Residuos no peligrosos .....  | 49 |
| 7.2.6.2 Residuos peligrosos .....   | 50 |
| 7.2.6.3 Residuos Infecciosos o de Riesgo Biológico .....  | 50 |
| 7.2.6.4 Residuos Químicos .....   | 51 |
| 7.2.6.5 Residuos Radiactivos .....  | 53 |
| 7.2.7 Residuos de bolsas tipo viaflex, equipos de venoclisis y guantes<br>quirúrgicos.....  | 53 |
| 7.2.7.1 Características y composición de los equipos de venoclisis, bolsas tipo<br>viaflex y guantes quirúrgicos .....              | 54 |
| 7.2.8 Inactivación de los residuos hospitalarios y similares .....  | 54 |
| 7.2.8.1 El tratamiento térmico de inactivación.....   | 55 |
| 7.2.8.2 Resistencia de las bacterias a la acción del calor .....  | 55 |
| 7.2.8.3 Inactivación por autoclave de calor húmedo .....  | 57 |
| 7.2.8.4 Componentes de una autoclave de calor húmedo .....  | 59 |
| 7.2.8.5 Residuos que pueden ser tratados en autoclaves de calor húmedo ..   | 60 |
| 7.2.8.7 Ventajas del autoclavado con calor húmedo .....   | 61 |
| 7.2.8.8 Desventajas del autoclavado con calor húmedo .....  | 62 |
| 7.2.8.9 Parámetros operativos de la autoclave de calor húmedo.....  | 63 |
| 7.2.8.9.1 Tiempo, Temperatura y Presión .....   | 63 |
| 7.2.8.10 Niveles de Inactivación/desactivación microbiana.....  | 64 |
| <br>  |    |
| 8. METODOLOGÍA.....   | 66 |
| <br>  |    |
| 8.1 Tipo de investigación .....   | 66 |
| 8.2 Desarrollo Metodológico .....   | 66 |
| 8.2.1 Momento 1. Acercamiento conceptual y metodológico .....   | 66 |
| 8.2.2 Momento 2. Selección de técnicas y construcción de herramientas para<br>la recolección de información.....                    | 66 |
| 8.2.3 Momento 3. Clasificación y análisis de información obtenida en el<br>momento 2 .....  | 67 |
| 8.2.4 Momento 4. Elaboración y sistematización del informe final .....  | 68 |
| 8.2.5 Momento 5. Socialización de los resultados obtenidos en el proceso de<br>investigación a los actores intervinientes .....     | 68 |
| 8.3 Técnicas e instrumentos.....  | 68 |
| <br>  |    |
| 9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....  | 69 |
| <br>  |    |
| 9.1 Cantidad de residuos de equipos de venoclisis, guantes quirúrgicos y bolsas<br>tipo viaflex generados en las IPS censadas ..... | 69 |

|  |     |
|--|-----|
| 9.1.1 Generación de bolsas tipo viaflex, guantes quirúrgicos y equipos de venoclisis en las IPS censadas.....  | 69  |
| 9.1.2 Generación en peso de residuos de bolsas tipo viaflex, guantes quirúrgicos y equipos de venoclisis .....   | 70  |
| 9.1.3 Cantidad de residuos que envían a incineración .....   | 71  |
| 9.1.4 Gestión de residuos de bolsa tipo viaflex.....   | 72  |
| 9.1.5 Gestión de residuos de equipos de venoclisis, guantes limpios y estériles .....  | 73  |
| 9.2 Evaluación de la inactivación mediante autoclave de calor húmedo en C.I PLASTIGOMA.S.A .....   | 74  |
| 9.2.1 Diseño experimental aplicado en las pruebas de inactivación.....   | 74  |
| 9.2.2 Método de filtración por membrana y los medios de cultivo empleados. ...   | 76  |
| 9.2.3 Procedimiento de inoculación de las bacterias .....  | 77  |
| 9.2.4 Procedimiento de contaminación de los tratamientos con materia orgánica .....  | 78  |
| 9.2.5 Inactivación de los tratamientos en C.I PLASTIGOMA S.A. ....   | 80  |
| 9.2.6 Resultados de la prueba de inactivación .....  | 83  |
| 9.2.6.1 Resultados de inactivación de P. aeruginosa por tipo de material o residuo tratado .....   | 85  |
| 9.2.6.2 Resultados de inactivación de B. stearothermophilus por tipo de material o residuo tratado.....  | 87  |
| 9.3 Procesos de reciclaje existentes en C.I PLASTIGOMA.S.A. ....   | 89  |
| 9.3.1 Inyección .....  | 90  |
| 9.3.2 Regenerado .....   | 94  |
| 9.3.3 Vulcanizado.....   | 98  |
| 9.4 Comparación ambiental entre el tratamiento de los residuos en C.I PLASTIGOMA S.A. vs el proceso de incineración.....   | 101 |
| 9.4.1 Aspectos ambientales de los procesos que se realizan en C.I PLASTIGOMA S.A. ....   | 101 |
| 9.4.1.1 Eco-balances procesos de transformación de C.I. PLASTIGOMA S.A. ....   | 101 |
| 9.4.1.2 Gestión de residuos sólidos en C.I. PLASTIGOMA S.A. ....   | 105 |
| 9.4.1.3 Contaminación del aire.....  | 110 |
| 9.4.1.4 Generación de aguas residuales.....  | 112 |
| 9.4.1.5 Relación con el medio socioeconómico .....   | 112 |
| 9.5 Requerimientos energéticos y descargas contaminantes para la producción de caucho en bruto y PVC virgen vs procesos de reciclaje en C.I. PLASTIGOMA S.A..... | 112 |
| 9.5.1 Consumo de energía en relación al caucho .....   | 112 |

|  |     |
|--|-----|
| 9.5.2 Emisiones de CO <sub>2</sub> –producción de caucho en bruto vs procesos C.I PLASTIGOMA S.A. ....   | 115 |
| 9.5.3 Consumo de energía en relación al procesamiento de PVC virgen ....   | 117 |
| 9.5.4 Emisiones de CO <sub>2</sub> –producción de PVC virgen vs procesos C.I PLASTIGOMA S.A. ....  | 118 |
| 9.6 Aspectos ambientales del horno incinerador utilizado para el tratamiento de residuos hospitalarios.....  | 120 |
| 9.6.1 Cámara de combustión .....   | 120 |
| 9.6.2 Cámara de postcombustión .....   | 121 |
| 9.6.3 Semi dry scrubber .....  | 121 |
| 9.6.4 Ciclones .....   | 122 |
| 9.6.5 Intercambiador de calor.....   | 123 |
| 9.6.6 Filtros de mangas.....   | 123 |
| 9.6.7 Torre lavadora.....  | 124 |
| 9.6.8 Eco-balance del proceso de tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios por incineración.....   | 125 |
| 9.6.8.2 Porcentaje de residuos sólidos no aprovechados, que se generan en los procesos de reciclaje de C.I PLASTIGOMA S.A y en la incineración ..... | 129 |
| 9.6.8.3 Emisiones a la atmósfera generadas por la incineración de residuos .....   | 130 |
| 9.7 Consumo de energía para el proceso de incineración.....  | 133 |
| 9.8 Costos de tratamiento y beneficios económicos derivados de la gestión de los residuos objeto de estudio .....                                    | 135 |
| <br>   |     |
| 10. CONCLUSIONES.....  | 137 |
| <br>   |     |
| 11. RECOMENDACIONES .....  | 141 |
| <br>   |     |
| 12. BIBLIOGRAFÍA .....   | 143 |

## Tablas

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabla 1.</b> Resistencia relativa de los microorganismos al calor húmedo.....                      | 57  |
| <b>Tabla 2.</b> Propiedades del vapor saturado.....   | 64  |
| <b>Tabla 3.</b> Parámetros recomendados de operación en autoclaves.....                               | 64  |
| <b>Tabla 4.</b> Niveles de inactivación/desactivación microbiana.....                                 | 65  |
| <b>Tabla 5.</b> Nivel de inactivación microbiana alcanzado con el<br>Uso de autoclaves.....           | 66  |
| <b>Tabla 6.</b> Peso del material por unidad.....   | 71  |
| <b>Tabla 7.</b> Condiciones de operación autoclave C.I<br>PLASTIGOMA S.A.....                         | 81  |
| <b>Tabla 8.</b> Recuento de bacterias de <i>P. aeruginosa</i> .....                                   | 84  |
| <b>Tabla 9.</b> Recuento de bacterias de <i>B. stearothermophilus</i> .....                           | 84  |
| <b>Tabla 10.</b> Residuos sólidos generados en C.I.<br>PLASTIGOMA S.A.....                            | 107 |
| <b>Tabla 11.</b> Características de los gases de combustión de C.I.<br>PASTIGOMA S.A.....             | 110 |
| <b>Tabla 12.</b> Consumo energético en RECCOL<br>(regenerado de Caucho).....                          | 113 |
| <b>Tabla 13.</b> Consumo energético en Vulcanizado.....   | 113 |
| <b>Tabla 14.</b> Consumo energético total para la obtención de productos<br>de caucho.....            | 113 |
| <b>Tabla 15.</b> Consumo energético para la producción de caucho en bruto.....                        | 114 |
| <b>Tabla 16.</b> Características de las aguas residuales generadas en la<br>producción de caucho..... | 115 |
| <b>Tabla 17.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> en la producción de caucho en bruto.....                | 116 |
| <b>Tabla 18.</b> Consumo energético en Inyección.....   | 117 |
| <b>Tabla 19.</b> Consumo energético para la producción de PVC virgen.....                             | 117 |
| <b>Tabla 20.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> en la producción de PVC virgen.....                     | 118 |
| <b>Tabla 21.</b> Residuos sólidos generados en el horno incinerador.....                              | 127 |
| <b>Tabla 22.</b> Resultados TCLP para cenizas y PST.....  | 129 |
| <b>Tabla 23.</b> Características de los gases de chimenea del horno                                   |     |

|  |     |
|--|-----|
| incinerador, sin incluir dioxinas y furanos.....   | 131 |
| <b>Tabla 24.</b> Concentración de dioxinas y furanos.....  | 132 |
| <b>Tabla 25.</b> Actividades directas e indirectas que requieren energía en la incineración.....         | 133 |
| <b>Tabla 26.</b> Consumo energético del proceso de incineración.....                                     | 134 |
| <b>Tabla 27.</b> Características y costos de tratamiento para la gestión de los residuos de interés..... | 135 |

## Imágenes

|  |    |
|--|----|
| <b>Imagen 1.</b> Inoculación de bacterias.....   | 78 |
| <b>Imagen 2.</b> Bacterias inoculadas de <i>P. aeruginosa</i> y de <i>B. sterothermophilus</i> ..... | 78 |
| <b>Imagen 3.</b> Laboratorio utilizado.....  | 78 |
| <b>Imagen 4.</b> Preparación de la sangre para la contaminación e inoculación como sustrato.....     | 78 |
| <b>Imagen 5.</b> Contaminación del material.....   | 79 |
| <b>Imagen 6.</b> Material contaminado.....   | 79 |
| <b>Imagen 7.</b> Tratamiento de guantes quirúrgicos.....   | 79 |
| <b>Imagen 8.</b> Tratamiento equipos de venoclisis.....  | 79 |
| <b>Imagen 9</b> Tratamientos listos para incubación.....   | 80 |
| <b>Imagen 10</b> Autoclave de calor húmedo C.I PLASTIGOMA S.A.....                                   | 80 |
| <b>Imagen 11.</b> Carga del autoclave para prueba de inactivación.....                               | 81 |
| <b>Imagen 12.</b> Características del material inactivado a 150°C.....                               | 82 |
| <b>Imagen 13.</b> Caldo letheen para cada uno de los tratamientos.....                               | 82 |
| <b>Imagen 14.</b> Dilución del material en caldo letheen.....  | 82 |
| <b>Imagen 15.</b> Cajas de petri para el desarrollo de microorganismos.....                          | 83 |
| <b>Imagen 16.</b> Cero crecimientos de <i>B. stearothermophilus</i> .....                            | 83 |
| <b>Imagen 17.</b> Crecimiento de <i>B. stearothermophilus</i> .....                                  | 83 |
| <b>Imagen 18.</b> Cero crecimientos de <i>P. aeruginosa</i> .....                                    | 83 |
| <b>Imagen 19.</b> Crecimiento de <i>P. aeruginosa</i> .....  | 83 |
| <b>Imagen 20.</b> Revisión bolsa tipo viaflex.....   | 90 |
| <b>Imagen 21.</b> Pesaje bolsa tipo viaflex.....   | 90 |
| <b>Imagen 22.</b> Almacenamiento temporal 1 de bolsa tipo viaflex.....                               | 91 |
| <b>Imagen 23.</b> Almacenamiento temporal 2 de bolsa tipo viaflex.....                               | 91 |
| <b>Imagen 24.</b> Pitones retirados y rechazados.....  | 91 |
| <b>Imagen 25.</b> Trozador inyección.....  | 92 |
| <b>Imagen 26.</b> Mezclador.....   | 92 |
| <b>Imagen 27.</b> Aspas rotatorias del mezclador.....  | 92 |
| <b>Imagen 28.</b> Insumos utilizados en mezclas.....   | 92 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Imagen 29.</b> Inyectora.....  | 93  |
| <b>Imagen 30.</b> Motopartes como producto final.....                     | 94  |
| <b>Imagen 31.</b> Almacenamiento de excedentes industriales de látex..... | 95  |
| <b>Imagen 32.</b> Almacenamiento de rebaba.....                           | 95  |
| <b>Imagen 33.</b> Trozador regenerado.....                                | 95  |
| <b>Imagen 34.</b> Pulverizador temporal.....                              | 96  |
| <b>Imagen 35.</b> Silo de almacenamiento.....                             | 96  |
| <b>Imagen 36.</b> Polvo de caucho.....                                    | 96  |
| <b>Imagen 37.</b> Almacenamiento de aceite usado.....                     | 97  |
| <b>Imagen 38.</b> Mezclador área de regenerado.....                       | 97  |
| <b>Imagen 39.</b> Autoclave para regenerado.....                          | 97  |
| <b>Imagen 40.</b> Caldera para suministro de vapor.....                   | 97  |
| <b>Imagen 41.</b> Unidad de secado.....                                   | 98  |
| <b>Imagen 42.</b> Caucho regenerado.....                                  | 98  |
| <b>Imagen 43.</b> Aditivos químicos para el vulcanizado.....              | 99  |
| <b>Imagen 44.</b> Banbury.....  | 99  |
| <b>Imagen 45.</b> Molino para homogenización.....                         | 99  |
| <b>Imagen 46.</b> Prensa de vapor.....                                    | 100 |
| <b>Imagen 47.</b> Inyectora área de vulcanizado.....                      | 100 |
| <b>Imagen 48.</b> Pisos antideslizantes producidos en vulcanizado.....    | 100 |
| <b>Imagen 49.</b> Ciclones para la remoción de material particulado.....  | 111 |
| <b>Imagen 50.</b> Dispersión de partículas en pulverizado.....            | 111 |
| <b>Imagen 51.</b> Cámara de combustión.....                               | 120 |
| <b>Imagen 52.</b> Cámara de postcombustión.....                           | 121 |
| <b>Imagen 53.</b> Semi dry scrubber.....                                  | 122 |
| <b>Imagen 54.</b> Recipiente para la preparación de NaOH.....             | 122 |
| <b>Imagen 55.</b> Ciclones.....   | 122 |
| <b>Imagen 56.</b> Filtro de manga.....                                    | 127 |
| <b>Imagen 57.</b> Torre lavadora.....                                     | 127 |
| <b>Imagen 58.</b> Cenizas de combustión.....                              | 128 |
| <b>Imagen 59.</b> PST ciclones.....                                       | 128 |

**Imagen 60.** PST filtros de manga..... 128

## **Diagramas**

|  |     |
|--|-----|
| <b>Diagrama 1.</b> Triangulo del Desarrollo Sostenible.....  | 41  |
| <b>Diagrama 2:</b> Clasificación de Residuos Hospitalarios y Similares<br>(fuente Decreto 2676 de 2000)..... | 48  |
| <b>Diagrama 3.</b> Inyección.....  | 90  |
| <b>Diagrama 4.</b> Regenerado de caucho.....   | 94  |
| <b>Diagrama 5.</b> Vulcanizado.....  | 98  |
| <b>Diagrama 6.</b> Eco-balance Regenerado de caucho (RECCOL) .....   | 102 |
| <b>Diagrama 7.</b> Eco-balance Inyección Fuente: Investigación.....  | 103 |
| <b>Diagrama 8.</b> Eco-balance Vulcanizado Fuente: investigación.....  | 104 |
| <b>Diagrama 9.</b> Eco-balance horno incinerador Fuente: investigación.....                                  | 126 |
| <b>Diagrama 10.</b> Flujo de residuos dentro de la etapa de inactivación.....                                | 142 |

## Gráficas

|  |     |
|--|-----|
| <b>Gráfica 1.</b> Número de bolsas tipo viaflex generadas como residuo.....  | 70  |
| <b>Gráfica 2.</b> Número de equipos de venoclisis, guantes limpios y estériles generados como residuo.....                       | 70  |
| <b>Gráfica 3.</b> Kilogramos de residuos generados por tipo de material.....   | 71  |
| <b>Gráfica 4.</b> Cantidad de residuos incinerados.....  | 72  |
| <b>Gráfica 5.</b> Tipo de gestión de la bolsa tipo viaflex.....  | 72  |
| <b>Gráfica 6.</b> Tipo de gestión de los residuos de bolsas tipo viaflex por institución.....                                    | 73  |
| <b>Gráfica 7.</b> Tipo de gestión de residuos de equipos de venoclisis, guantes.....   | 74  |
| <b>Gráfica 8.</b> Tipo de gestión de los residuos de equipos de venoclisis por institución.....                                  | 74  |
| <b>Gráfica 9.</b> Tasa de mortalidad de la P. aeruginosa en el tratamiento de equipos de venoclisis con calor húmedo.....        | 85  |
| <b>Gráfica 10.</b> Tasa de mortalidad de la P. aeruginosa en el tratamiento de bolsas tipo viaflex con calor húmedo.....         | 86  |
| <b>Gráfica 11.</b> Tasa de mortalidad de la P. aeruginosa en el tratamiento de guantes quirúrgicos con calor húmedo.....         | 87  |
| <b>Gráfica 12.</b> Tasa de mortalidad del B. stearothermophilus en el tratamiento de equipos de venoclisis con calor húmedo..... | 87  |
| <b>Gráfica 13.</b> Tasa de mortalidad del B. stearothermophilus en el tratamiento de bolsas tipo viaflex con calor húmedo.....   | 88  |
| <b>Gráfica 14.</b> Tasa de mortalidad del B. stearothermophilus en el tratamiento de guantes quirúrgicos con calor húmedo.....   | 89  |
| <b>Gráfica 15.</b> Cantidad y tipo de gestión realizada a los residuos generados en C.I PLASTIGOMA.....                          | 109 |
| <b>Gráfica 16.</b> Tipo de gestión realizada a los residuos sólidos generados.....   | 110 |
| <b>Gráfica 17.</b> Energía requerida por tonelada de caucho producido y Regenerado.....  | 114 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Gráfica 18.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> globales C.I PLASTIGOMA S.A y emisiones para la producción de caucho natural y sintético.....             | 116 |
| <b>Gráfica 19.</b> Energía consumida por tonelada de PVC virgen producido vs tonelada PVC reciclado.....  | 118 |
| <b>Gráfica 20.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> globales C.I PLASTIGOMA S.A y emisiones para la producción de PVC virgen.....                             | 119 |
| <b>Gráfica 21.</b> Comparación emisiones de CO <sub>2</sub> para la producción de caucho y PCV virgen y procesos de reciclado en C.I. PLASTIGOMA S.A..... | 119 |
| <b>Gráfica 22.</b> Residuos generados en C.I PLASTIGOMA S.A que no son aprovechados.....  | 130 |
| <b>Gráfica 23.</b> Residuos generados en después del tratamiento de Incineración.....   | 130 |
| <b>Gráfica 24.</b> Energía global/ton consumida en C.I PLASTIGOMA S.A vs incineración.....  | 134 |
| <b>Gráfica 25.</b> Costos y ahorros para las IPS en la gestión de los residuos de interés.....  | 136 |

## **Figuras**

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Mecanismo de funcionamiento y componentes de una autoclave de calor húmedo..... | 61 |
| <b>Figura 2.</b> . Diseño experimental aplicado en las pruebas de inactivación.....              | 75 |

## **Anexos**

Anexo 1. Encuesta realizada a las instituciones de salud

Anexo 2. Instituciones de salud censadas

Anexo 3. Informe de ensayos realizados por INGECAL.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación pretendió evaluar desde el punto de vista de la producción más limpia y del desarrollo sostenible, el aprovechamiento o reciclaje de residuos hospitalarios conformados por equipos de venoclisis, guantes quirúrgicos y bolsas tipo viaflex.

Para tal efecto se estimó la cantidad de este tipo de residuos generados mensualmente por las instituciones prestadoras de salud, IPS, que tienen habilitados los servicios de hospitalización, urgencias y/o cirugía, cuyo control y vigilancia está a cargo de la Dirección Territorial de Salud del departamento de Caldas.

Posteriormente, se evaluó la eficiencia de la inactivación a través de autoclave con calor húmedo en las instalaciones de C.I. PLASTIGOMA S.A., empresa recicladora, para lo cual se contaminó material estéril con la inoculación de cepas de *P. aeruginosa* y *B. stearothermophilus*, en medio de sangre como sustrato y se determinaron las condiciones de tiempo, temperatura y presión que garantizan la esterilidad del material para su manipulación en los procesos de reciclaje.

Del mismo modo, se comparó aspectos ambientales relacionados con la gestión que ofrece la empresa recicladora para los residuos en cuestión, en donde se concluyó que el aprovechamiento de cada tonelada de residuo requiere menor demanda de energía que la requerida para la producción de la misma cantidad de material virgen y que al mismo tiempo, las emisiones de CO<sub>2</sub> son menores en el caso del reciclaje que lo emitido en los procesos de obtención de PVC virgen y caucho en bruto.

Finalmente, se estableció que la gestión que ofrece C.I. PLASTIGOMA S.A. es más beneficiosa para el medio ambiente que la que se lleva a cabo a través de la incineración, puesto que se aprovecha el 99% de los residuos que son llevados a

la empresa, obteniéndose productos de larga vida útil, en donde los impactos ambientales negativos generados en los procesos de reciclaje son mínimos y fácilmente prevenibles y mitigables.

## ABSTRACT

This research work attempted to evaluate from the standpoint of cleaner production and sustainable development, utilization or recycling of hospital waste comprised of IV tubing, surgical gloves and bags viaflex type.

For this purpose we estimated the amount of this waste generated monthly by the institutions providing health care IPS, which have enabled the hospital services, emergency and/or surgery, the control and monitoring is done by the Regional Directorate of Health the department of Caldas.

Subsequently, we evaluated the efficiency of inactivation by moist heat autoclave on the premises of CI PLASTIGOMA SA, recycling company, for which sterile material was contaminated with the inoculation of strains of *P. aeruginosa* and *B. stearothermophilus*, amid blood as a substrate and defined the conditions of time, temperature and pressure to ensure the sterility of the material handling in the recycling process.

Similarly, comparing the environmental aspects related to manageability features for waste recycling company in question, which concluded that the use of every ton of waste requires less energy demand than that required to produce the same amount of virgin material and at the same time, CO<sub>2</sub> emissions are lower in the case of recycling that emitted in the processes of production of virgin PVC and raw rubber.

Finally, it was established that CI management offering PLASTIGOMA SA is more beneficial for the environment than is done through incineration, since it takes 99% of waste are taken to the company, obtaining long-life products, where the negative environmental impacts generated in the recycling process are minimal and easily preventable and mitigation.

## 1. INTRODUCCIÓN

La incineración de ciertos tipos de residuos hospitalarios y similares, particularmente aquellos que contienen cloro y metales pesados, puede bajo ciertas condiciones (i.e. temperaturas de incineración insuficientes, inadecuado control de emisiones) liberar materiales tóxicos a la atmósfera, como el caso de las dioxinas y furanos, así como algunas partículas metálicas. Además, se ha presentado en algunas zonas de nuestro país, irregularidades en la disposición final de residuos hospitalarios, debido a que se han encontrado cerca de asentamientos urbanos, bolsas de suero y equipos de venoclisis, entre otros, que ponen en riesgo la salud pública y deterioran el medio ambiente.

Por consiguiente, esta investigación pretende evaluar el aprovechamiento y valorización de residuos de bolsas tipo viaflex, equipos de venoclisis y guantes quirúrgicos en C.I. PLASTIGOMA S.A., desde el punto de vista de producción más limpia < PML >, como una alternativa de tratamiento, que puede traer consigo beneficios económicos, ambientales y sociales, sin afectar la integridad física de las personas involucradas en este proceso de gestión, apoyándose en las definiciones de aprovechamiento y cultura de “la no basura”, manifestadas en la normatividad matriz para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares, estipuladas en el decreto 2676 de 2000 y en la resolución 1164 de 2002.

En este sentido, vale recordar que según la Organización Mundial de la Salud < OMS > indica que la extracción de residuos hospitalarios de rellenos sanitarios y botaderos para su posterior reutilización y venta puede traer problemas ambientales y de salud pública; pero que cuando el material se obtiene de centros hospitalarios en donde realizan una correcta separación en la fuente de sus residuos, el reciclaje es posible, seguro y beneficioso.

Ahora bien, dejar de reciclar lo reciclable, implica más desechos y menos vida útil para los rellenos sanitarios, mayor explotación de los recursos naturales, más

emisiones de gases por incineración, desperdicio de materia prima de bajo costo para fabricar nuevos productos útiles y aumento de las tasas de desempleo, entre otros efectos nefastos.

## **2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1 Formulación del problema de investigación**

¿Qué beneficios genera desde el punto de vista ambiental, económico y social, el aprovechamiento y valorización en C.I. PLASTIGOMA S.A, de los residuos de bolsas tipo viaflex, equipos venoclisis y guantes quirúrgicos (limpios y estériles), generados en las instituciones de salud?

### **2.2 Planteamiento del problema de investigación**

En nuestra sociedad, y cada vez más, los problemas ambientales han tomado una gran relevancia, los cuales son causados por un modo de vida ligado a un modo de producción y consumo que no tiene en cuenta al medio ambiente, actitudes y comportamientos incompatibles con el desarrollo sostenible. Estas conductas traen como consecuencia un proceso de degradación que afecta de manera directa nuestra salud y a todas las formas de vida que habita nuestro planeta.

Por paradójico que parezca, las instituciones de salud no están exentas de la responsabilidad en estos problemas, debido que, para su diario funcionamiento, es necesario el consumo de recursos naturales y de diferentes productos, que finalmente se convierten en desechos como aguas residuales, emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, pero sobre todo, en una gran cantidad de residuos sólidos, que en su gran proporción son catalogados como peligrosos por la normatividad ambiental <Decreto 4741 de 2005, artículo 33>

En ese sentido, la generación de residuos sólidos peligrosos, es el impacto ambiental más negativo que causa las diferentes actividades de los centros hospitalarios y que han sido regulados en cuanto a su gestión interna por el Ministerio de Protección Social y por lo que a su gestión externa se refiere, por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Para una mejor ilustración, según el artículo 5 del Decreto 2676 de 2000, los residuos peligrosos generados en las instituciones de salud se clasifican en residuos infecciosos o de riesgo biológico, entre los que se encuentra los biosanitarios, anatomopatológicos, cortopunzantes y de animales; químicos y radiactivos<sup>1</sup>, cuya gestión debe hacerse de manera especial.

En Caldas, por ejemplo, la gestión de los residuos infecciosos se realiza principalmente a través de la incineración, procedimiento que se lleva a cabo previa inactivación con agentes químicos como amonios cuaternarios<sup>2</sup>, peróxido de hidrógeno, entre otros desinfectantes, pero que como efecto adverso, genera emisiones de dioxinas que se producen involuntariamente en los procesos de combustión que involucran el cloro, uno de los componentes principales de las bolsas tipo viaflex, de los equipos de venoclisis y de los guantes quirúrgicos y que son sustancias sumamente tóxicas aún en muy bajas concentraciones, persistentes en el medio ambiente por períodos prolongados sin degradarse, concentrándose en los tejidos grasos de los organismos vivos<sup>3</sup>; sumado a los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxidos de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), partículas, metales pesados y gases ácidos<sup>4</sup> que afectan de manera directa a la población vecina a éstos hornos incineradores, como es el caso de la Ciudadela Puertas del Sol, asentamiento urbano perteneciente a la ciudad de Manizales, la cual se encuentra ubicada contiguo a la planta de incineración de propiedad de la empresa local de aseo y que puede estar potencialmente afectada por éstas emisiones.

---

<sup>1</sup> MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares. Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares para Pequeños Generadores. Versión 1 2007. p 28 a 33.

<sup>2</sup> Amonio cuaternario: Sustancias derivadas de compuestos de amonio, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Y<sup>-</sup>, en los que los cuatro hidrógenos unidos al nitrógeno han sido reemplazados por grupos hidrocarbilo. Se distinguen de las IMINAS, que son RN=CR<sub>2</sub>.

<sup>3</sup> BELLIVEAU Michael E. DIOXIN POLLUTION PREVENTION AND PVC PLASTIC IN MUNICIPAL SOLID WASTE: PRECAUTIONARY POLICY. [En línea]. [Consultado el 10 de Agosto de 2008]. Disponible en [http://www.burnbarrel.org/Science/Dioxin2003\\_papers/MBelliveau723.pdf](http://www.burnbarrel.org/Science/Dioxin2003_papers/MBelliveau723.pdf)

<sup>4</sup> IBID.

De otro lado, resulta preocupante los comentarios leídos en los diferentes periódicos del país, como el diario El Tiempo, en su artículo denominado “Alarma sanitaria por hallazgo de botaderos clandestinos de desechos médicos”; El País, con el escrito “Residuos hospitalarios, mal manejados” y La Tarde, con el artículo “Risaralda produce 3 toneladas diarias de desechos hospitalarios”, los cuales fueron publicados el 6 de agosto de 2008, en donde coinciden sobre el manejo inadecuado que se da en la mayoría de las instituciones de salud, a los residuos biosanitarios y cortopunzantes; situación develada por los sucesos acontecidos en la ciudad de Barranquilla y en otras ciudades del país, en donde más de 10 toneladas de desperdicios de uso médico fueron dispuestos de manera irregular en zonas habitadas por personas de escasos recursos, poniendo en riesgo su integridad física y contaminando gravemente el medio circundante.

Debido a estos acontecimientos, la Procuraduría General de la Nación, en el boletín 324 del 5 de agosto de 2008, reveló como resultados de una investigación adelantada tras denuncias sobre botaderos de residuos a cielo abierto en Boyacá, Barranquilla y Buenaventura, que de los 110 hornos incineradores de desechos hospitalarios que existen en Colombia, tan solo 30 están en uso y que solo se cuenta con tres celdas especiales de seguridad para la disposición final de este tipo de desechos, pero que sin embargo, la que está ubicada en el departamento en Boyacá es la única que se encuentra en operación<sup>5</sup>.

De continuar con ésta situación, probablemente aumentarán los problemas por la disposición inadecuada de los residuos hospitalarios, aumentando el grado de contaminación de los diferentes componentes del medio y poniendo en riesgo la población por posibles contagios al entrar en contacto con estos desechos; y en el caso de la incineración como medida de gestión, las emisiones de dioxinas y furanos consecuencia de la combustión de los residuos con presencia de cloro,

---

<sup>5</sup> PROCURADURIA GENERAL DE LA NACION. Municipios no tienen planes de gestión integral de residuos hospitalarios reveló Procuraduría. [En línea]. [Consultado el 17 de Agosto de 2008]. Disponible en [http://www.procuraduria.gov.co/html/noticias\\_2008/noticias\\_324.html](http://www.procuraduria.gov.co/html/noticias_2008/noticias_324.html)

podrán de manera potencial, afectar la salud de las comunidades vecinas a éstas plantas de tratamiento de desechos peligrosos.

Por lo tanto, una acción tendiente a proteger el medio ambiente y al mismo tiempo mejorar la gestión al interior de las instituciones de salud, es la implementación de estrategias de producción más limpia (PML), en la cual pueda establecerse las condiciones necesarias para un adecuado aprovechamiento y valorización de los residuos en cuestión de manera que mitigue en gran parte, la problemática ambiental que se vive en la actualidad.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

Evaluar desde el punto de vista de Producción Más Limpia < PML >, el aprovechamiento y valorización de residuos de bolsas tipo viaflex, equipos de venoclisis y guantes quirúrgicos en C.I. PLASTIGOMA S.A.

##### **3.1.1 Objetivos específicos**

- Estimar la cantidad de residuos de bolsas tipo viaflex, equipos de venoclisis y guantes quirúrgicos generados en las IPS que tienen habilitado los servicios de urgencia, hospitalización y/o cirugía, dentro el departamento de Caldas.
- Evaluar la inactivación de los residuos mediante autoclave de calor húmedo, en términos de las bacterias *pseudomona aeruginosa* y *bacillus stearothermophilus* de acuerdo a lo establecido en el decreto 2676 de 2000.
- Establecer un análisis comparativo en términos ambientales, económicos y sociales, entre el aprovechamiento y valorización de los residuos de bolsas tipo viaflex, equipos de venoclisis y guantes quirúrgicos y el tratamiento que se realiza actualmente mediante el proceso de incineración.

## **4. HIPÓTESIS**

### **4.1 Hipótesis de trabajo**

1) El aprovechamiento y valorización de los residuos de equipos de venoclisis, bolsas viaflex y guantes quirúrgicos trae consigo beneficios económicos, ambientales y sociales, que hacen viable la implementación de ésta medida en las diferentes instituciones de salud del departamento de Caldas.

2) El tratamiento de los residuos de bolsas tipo viaflex, equipos de venoclisis y guantes quirúrgicos en CI. PASTIGOMA S.A. es más beneficioso para el medio ambiente, que el que se realiza actualmente a través de la incineración.

### **4.2 Hipótesis nula**

1) El aprovechamiento y valorización de los residuos de equipos de venoclisis, bolsas viaflex y guantes quirúrgicos no aporta beneficios económicos, ambientales y sociales, razón por la cual no es viable la implementación de ésta medida en las diferentes instituciones de salud del departamento de Caldas.

2) El tratamiento de los residuos de bolsas tipo viaflex, equipos de venoclisis y guantes quirúrgicos en C.I. PLASTIGOMA S.A. no es más beneficioso para el medio ambiente, que el que se realiza actualmente a través de la incineración.

## 5. JUSTIFICACIÓN

Bart van Hoof, en su trabajo denominado “Introducción a la Producción más Limpia”, publicado en el 2004 por la Universidad de los Andes, afirma que la Producción más Limpia es actualmente una de las alternativas de vanguardia para el manejo de los problemas de contaminación, debido a que es una estrategia preventiva que utiliza un enfoque más proactivo que reactivo en la solución de los problemas ambientales, cuyos principios están acordes con el Desarrollo Sostenible, puesto que no está encaminada a la reducción de la actividad industrial, comercial o de servicios de una sociedad, sino que, dentro de la actividad productiva, aplica herramientas que tienden a su optimización y a la reducción de la contaminación.

En el caso de las instituciones de salud, se genera una gran cantidad de residuos de bolsas tipo viaflex, equipos de venoclisis y guantes quirúrgicos, que son catalogados como peligrosos por haber sido utilizados en procedimientos médicos y cuya disposición final generalmente se hace a través de la incineración, que además de ser incompatible con programas de recuperación y reciclaje que valoricen los materiales descartados por los centros hospitalarios, trae consigo efectos adversos para el medio ambiente como la emisión de dioxinas, furanos y otros gases contaminantes y como subproducto se obtiene cenizas que son importantes generadores de lixiviados al disponerse en los rellenos sanitarios; por otra parte, en muchas ocasiones éstos residuos biosanitarios, son dispuestos de manera irregular en botaderos a cielo abierto, acarreando consigo, problemas de salud pública y de contaminación al medio que lo rodea.

Lo anterior justifica la necesidad de investigar sobre alternativas de aprovechamiento de éstos desechos que contribuyan a la mitigación de los impactos negativos y que a su vez, dinamice la gestión de residuos hospitalarios, con la obtención de recursos económicos por la venta del material reciclado, que puedan ser reinvertidos en programas de gestión ambiental necesarios para

encaminar a éstas instituciones en políticas de producción más limpia, conforme a lo establecido en el artículo 14 del decreto 2676 de 2000 del Ministerio de Protección Social o a lo estipulado en el artículo 10 del decreto 4741 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Además, la implicación práctica de ésta investigación es muy importante, debido a que en nuestro país, el sector salud es uno de los de mayor presencia, que podrían aplicar las medidas desarrolladas con éste estudio, aprovechándose la similitud de los servicios que prestan, contribuyendo de ésta forma con una alternativa de aprovechamiento y valorización de residuos plásticos, que es uno de los objetivos del Gobierno Nacional en su Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos, dentro del marco ley 1196 de 2008 que busca la disminución en las emisiones de compuestos orgánicos persistentes con alternativas de gestión diferentes a la incineración y de la ley 1252 de 2008 que propende dentro de uno de sus artículos, por el diseño de planes, sistemas y procesos adecuados, limpios y eficientes, de tratamiento, almacenamiento, transporte, reutilización y disposición final de residuos peligrosos que se sumen al cuidado de la salud humana y el ambiente.

Por otro lado, esta investigación es novedosa en nuestro país y región, puesto que actualmente no se considera la alternativa de aprovechamiento y valorización de estos residuos, debido a su carácter peligroso, desconociéndose beneficios, como disminución de los impactos ambientales negativos al sustituir materia prima virgen por material reciclado en los procesos de inyección de plástico y reducción de emisiones de gases nocivos a la atmósfera producto de la incineración; económicos, por la reducción de costos en la disposición final de los residuos y por los ingresos que se pueden obtener gracias a su comercialización; y sociales, puesto que, toda la población colombiana tiene derecho a gozar de un ambiente sano, según lo estipulado en el artículo 79 de la Constitución Política de Colombia, además, de fortalecer empresas dedicadas al reciclaje que contribuyen a la generación de empleo.

## 6. ANTECEDENTES

- En enero de 1992, El PhD. William A Rutala, escribió para la publicación “Infection Control and Hospital Epidemiology” un artículo llamado “Medical Waste”, en donde sugiere que no hay riesgos infecciosos asociados con el reciclaje de los desechos hospitalarios, siendo la incorporación de prácticas de reducción y el reciclaje, componentes claves para una gestión eficaz de los residuos hospitalarios; y que de manera general, los esfuerzos de reciclaje que se han llevado a cabo en los hospitales e instituciones de salud se han centrado en residuos de vidrio, chatarra, latas de aluminio, cartón y material de embalaje; en el cual no se incluye residuos de plástico como equipos de vía intravenosa, debido a la percepción de una posible infección, situación que supone la necesidad de una mejor comprensión de los reales riesgos para salud pública, que plantea el flujo de residuos médicos; además, que desde una perspectiva de las enfermedades infecciosas, los desechos contaminados microbiológicamente, no son candidatos para el reciclaje.
- Lee, Byeong-Kyu, publicó en 1996 una investigación para la Universidad de Massachusetts llamada “A study of the characterization, disposal, recycling, and air emissions of medical and plastic wastes”, en donde se identificaron los orígenes y composición de los desechos médicos, se evaluaron las emisiones generadas por la incineración de los residuos, se analizaron los métodos para incrementar el reciclaje de plásticos de uso médico, se midieron las emisiones de gases contaminantes relacionados con el reprocesamiento de plásticos reciclados y se identificaron los mecanismos de degradación del plástico en los procesos de incineración y pirólisis.
- Tom Ford, en el artículo “Clinic part of project to recycle medical plastics”, de la publicación Crain's Cleveland Business, de 1997, realizó una descripción de un proyecto piloto denominado “Iniciativa de Reciclaje” que

buscaba el reciclado de bolsas y productos de plástico utilizados para el transporte de fluidos vía intravenosa, haciendo hincapié en que, los residuos que pudieran estar infectados o contaminados, no serían tenidos en cuenta en el proyecto.

- Louise Donovan, en el artículo denominado “Hospital finds winning waste reduction formula” de la publicación BioCycle de enero de 1999, se refirió a un programa de gestión de residuos sólidos en el Hospital de Queens de la ciudad de New York (NYHQ), el cual consistió en la creación de un grupo llamado Equipo Verde, cuyos objetivos fueron conservar los recursos naturales, reducir al máximo los impactos generados por el centro médico y reorientar los ingresos adquiridos a la atención del paciente. Dentro de los resultados alcanzados se encuentra la reducción en un 71% de los residuos infecciosos que eran llevados a incineración, gracias a una clasificación más eficiente, en donde desechos como toallas de papel, cajas de pizza, platos y vasos desechables y bolsas de solución salina, entraron a formar parte de una categoría diferente a la de residuos peligrosos.
- La fundación Idú, Srishti, publicó en junio de 2002, un trabajo llamado “Hospital Waste, Time to Act”, en el cual en uno de sus apartes sugiere que los residuos plásticos de uso médico pueden ser vendidos después de haber sido debidamente desinfectados y mutilados. Por otro lado, trae a colación que la Organización Mundial de la Salud, recomienda que no hay necesidad de destruir estos materiales, siempre y cuando, los residuos sean desinfectados y mutilados, puesto que la mutilación, garantiza que los residuos no serán reutilizados, además, que al aumentar el área superficial de éstos, se aumenta ostensiblemente la eficiencia de la desinfección.
- En diciembre de 2004, los científicos Savita Saini, Bimal K Das, Arti Kapil, Shyama S Nagarajan y RK Sarma realizaron una investigación titulada “The study of bacterial flora of different types in hospital waste: evaluation of

waste treatment at Aiims Hospital, New Delhi” para el Instituto de Ciencias Médicas de la India, en la cual se obtuvieron muestras de diferentes tipos de residuos a intervalos diferentes de tiempo en un hospital de atención terciaria para evaluarlos microbiológicamente. Inicialmente, las bacterias presentes en los residuos se encontraron en cantidades bajas, pero se reprodujeron rápidamente con el tiempo, puesto que un número significativo se detectaron en 24 horas, gracias a factores ambientales que fueron favorables para su crecimiento. El estudio sugiere fuertemente que los residuos deben ser retirados del hospital dentro de las 24 horas siguientes a su generación, para evitar la contaminación ambiental y los riesgos asociados a su manipulación.

- La Comisión Europea, en la revista “A cleaner, greener Europe, Life and the European Union waste policy” publicó un artículo en el 2004 titulado “Hospital Plastic Waste Recycling” en donde se establece que la cantidad de los residuos plásticos generados diariamente en los hospitales de Europa están por el orden de 5.4 a 8 kg por cama, pero que lamentablemente, existen muchas percepciones y prejuicios asociados al reciclaje de estos materiales, trayendo consigo que estos valiosos recursos sean dispuestos en los vertederos más cercanos. Debido a esto, la universidad de Tampere en Finlandia, decidió crear una serie de directrices para el reciclaje de estos residuos hospitalarios, en cooperación con especialistas en logística en el campo de los plásticos.
- Gita Nataraj, Sujata Baveja, Sunil Kuyare y Aruna Poojary, en su artículo “Report: Medical students for monitoring biomedical waste segregation practices - why and how? Experience from a medical college”, publicado en junio 2008, consideran a la segregación, como la piedra angular para una eficaz y adecuada gestión de los residuos biomédicos y que por lo tanto, las inadecuadas prácticas entorno al manejo de los desechos hospitalarios puede traer consigo, efectos adversos sobre la salud pública, además de

aumentar los costos de tratamiento y disposición final. Por otro lado, sugieren que las deficiencias en las prácticas de segregación de residuos pueden ser corregidos con educación y supervisión continua.

## 7. MARCO DE REFERENCIA

### 7.1 Marco Normativo

Para la formulación de la presente propuesta de investigación, es necesario determinar los mecanismos de regulación establecidos por el Ministerio de Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial a través de la revisión y posterior conocimiento de las diferentes normas que se han expedido, de tal manera, que se de soporte legal a la alternativa de aprovechamiento y valorización de los residuos hospitalarios, conformados por los equipos de venoclisis y guantes quirúrgicos.

Las normas de carácter ambiental consideradas en ésta propuesta son las siguientes:

- **Artículo 79 de la Constitución Política de Colombia.** En donde se establece que todas las personas tienen derecho a un ambiente sano.
- **Ley 1252 de 2008.** Por medio de la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
- **Ley 1196 de 2008.** Por medio de la cual se aprueba el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes
- **Ley 430 de 1998.** Por el cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones relacionadas con el manejo integral de los residuos generados en el país, como es la reducción de la cantidad de desechos que deben ir a los sitios de disposición final, mediante el aprovechamiento máximo de las materias primas, energía y recursos naturales utilizados y

también de los residuos generados de los procesos de producción, cuando sea factible y ecológicamente aceptable.

- **Ley 99 de 1993.** Por la cual se crea el Ministerio de Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el sistema nacional ambiental –SINA- y se dictan otras disposiciones.
  
- **Decreto 4126 de 2005.** Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 2676 de 2000, modificado por el Decreto 2763 de 2001 y el Decreto 1669 de 2002, sobre la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares.
  
- **Decreto 4741 de 2005.** Por el cual se reglamenta la prevención en la generación de desechos peligrosos y regula el manejo de los mismos, a través de la elaboración de planes de gestión integral de residuos por parte de los generadores, con acciones como la reducción en la fuente, minimización de la cantidad y peligrosidad de los mismos.
  
- **Decreto 1505 de 2003.** Modifica el decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos y define el aprovechamiento como el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos.
  
- **Decreto 1609 de 2002.** Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera, con la inclusión de todas las operaciones y condiciones relacionadas con la movilización de estos productos, la seguridad en los envases y embalajes, la preparación,

envío, carga, segregación, trasbordo, trasiego, almacenamiento en tránsito, descarga y recepción en el destino final. El manejo y transporte se considera tanto en condiciones normales, como las ocurridas en accidentes que se produzcan durante el traslado y almacenamiento en tránsito.

- **Decreto 1669 de 2002.** Por el cual se modifica parcialmente el decreto 2676 de 2000.
  
- **Decreto 2676 de 2000.** Reglamenta ambiental y sanitariamente, la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares, generados por personas naturales o jurídicas, en aspectos como la clasificación, obligaciones del generador y de las empresas prestadoras del servicio especial de aseo e incluye disposiciones relacionadas con la segregación en la fuente, inactivación, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento, y disposición final, además, del uso de tecnologías limpias para la minimización de residuos. También establece las autorizaciones para la gestión y manejo externo de los residuos hospitalarios y la adopción de planes de contingencia para casos de emergencia.
  
- **Decreto 2811 de 1974.** Por el cual se dicta el código nacional de los recursos naturales renovables y de protección del medio ambiente y en donde se establece la necesidad de reintegrar al proceso natural y económico los desperdicios sólidos, líquidos y gaseosos, provenientes de industrias, actividades domésticas o de núcleos humanos en general.
  
- **Resolución 0482 de 2009.** Por el cual se reglamenta el manejo de bolsas o recipientes que han contenido soluciones para uso intravenoso, intraperitoneal y en hemodiálisis, generados como residuos en las actividades de atención en salud, susceptibles de ser aprovechados o reciclados.

- **Resolución 1362 de 2007.** Se establecen los requisitos y el procedimiento para el registro de generadores de residuos o desechos peligrosos, a que se hacen referencia los artículos 27 y 28 del Decreto 4741 de 2005.
- **Resolución 0058 de 2002.** Por la cual se establecen normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos
- **Resolución 1164 de 2002.** Por la cual se adopta el manual de procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares.

## **7.2 Marco teórico**

### **7.2.1 Desarrollo Sostenible**

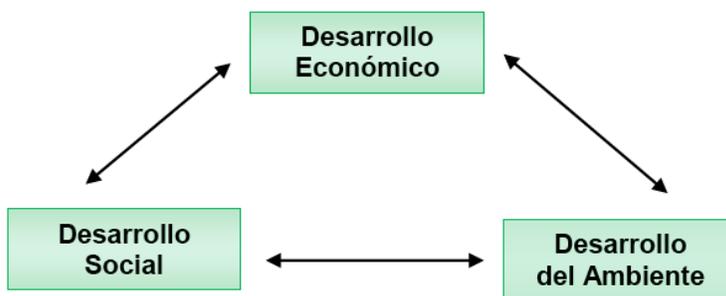
En 1972, en Estocolmo, se realizó la primera conferencia global en temas ambientales: La Conferencia para el Medio Ambiente Humano. Esta conferencia fue auspiciada por las Naciones Unidas y sirvió como una alerta a la humanidad acerca de los serios impactos que se le estaban causando al medio ambiente. De esta conferencia surgió la declaración de Estocolmo, en la cual se construyeron los cimientos para la creación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente –PNUMA- (UNEP 2000).

Posteriormente, en diciembre de 1983, la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) crea la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo. El Secretario General de la ONU designa a Gro Brundtland, Primera Ministra de Noruega, en la dirección de la Comisión. El reporte de la Comisión Brundtland establece que el desarrollo económico de los países es importante para suplir las necesidades del hombre, pero que este desarrollo debe tener en consideración los límites ecológicos de nuestro planeta; definiéndose de esta manera en 1987, al desarrollo sostenible como aquel que satisface las

necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, suponiendo una visión amplia de bienestar humano, una perspectiva a largo plazo sobre las consecuencias de las actividades de hoy, y la plena participación de la sociedad civil para llegar a soluciones viables<sup>6</sup>.

Subsiguientemente, del 3 al 14 de junio de 1992, se celebra la Conferencia de la ONU sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Segunda "Cumbre de la Tierra") en Río de Janeiro, donde nace la Agenda 21, se aprueban el Convenio sobre el Cambio Climático, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (Declaración de Río) y la Declaración de Principios Relativos a los Bosques. Se empieza a dar amplia publicidad del término desarrollo sostenible al público en general. Se modifica la definición original del Informe Brundtland, centrada en la preservación del medio ambiente y el consumo prudente de los recursos naturales no renovables, hacia la idea de "tres pilares" que deben conciliarse en una perspectiva de desarrollo sostenible: el progreso económico, la justicia social y la preservación del medio ambiente.

En el diagrama 1 se presenta el Triangulo del Desarrollo Sostenible, que ilustra cómo este concepto depende del equilibrio en el largo plazo de tres variables: manejo adecuado de los recursos naturales, equidad social y desarrollo económico.



**Diagrama No. 1 Triangulo del Desarrollo Sostenible**

<sup>6</sup> SATHIENDRAKUMAR, R.. Sustainable development: passing fad or potential reality? International Journal of Social Economics. Bradford: 1996. Tomo 23, N° 4/5/6; pg. 151. [En línea]. [Consultado el 15 de septiembre de 2008]. Disponible en <http://www.proquest.umi.com>

Dentro de estos hechos importantes, la creación de la Agenda 21 fue un factor de gran relevancia, porque prestó particular atención sobre la actividad industrial, recalcando a los Estados su deber de reducir y eliminar las modalidades de producción y consumo insostenibles, promoviendo así ciertos mecanismos para impulsar el desarrollo de una Producción Más Limpia.

### **7.2.2 Producción más limpia < PML >**

Los Convenios y Protocolos de carácter ambiental acordados entre Estados, (como el Convenio de Basilea y de Estocolmo y los Protocolos de Kioto y de Montreal), no solo tienen como objetivo la protección del medio ambiente, sino que también consideran la interacción de las otras dos variables que definen al desarrollo sostenible. En esos convenios, además de fuertes medidas restrictivas y prohibitivas, se diseñaron ciertos mecanismos de cooperación, investigación y de sistemas de información, que permitirán aplicar estrategias que no vayan en detrimento con la dinámica económica de los países. Es así como la industria, como factor que influye directamente sobre el medio ambiente, posee nuevos y mejores mecanismos para prevenir y reducir la contaminación inherente a sus procesos.

Y es que la importancia de estos Convenios radica en que dejan en un segundo plano las medidas de carácter restrictivo y le da gran validez a aquellos mecanismos preventivos para la disminución de la contaminación. La incorporación de nuevas tecnologías, la optimización de procesos productivos, el fomento de la investigación, la cooperación internacional y el incentivo a medidas para la minimización, son ejemplo de ello.

En ese sentido, la actividad industrial se verá afectada directamente por la aplicación de estos acuerdos, pero la oportunidad que tiene para generar procesos de innovación y obtener ventajas competitivas mediante una buena gestión ambiental es igualmente importante. Por lo tanto, la Producción Más Limpia (PML) como estrategia preventiva, continua e integral, se convierte en un mecanismo

importante para lograr un desarrollo económico, ambiental y socialmente sostenible.

En ese orden de ideas, la PML es el continuo esfuerzo por prevenir la contaminación, reducir el uso de la energía, el agua y los recursos materiales y minimizar los residuos en el proceso de producción. Se trata de repensar los productos, los componentes del producto y los procesos de producción para lograr una producción sostenible<sup>7</sup>.

Además, la PML en los procesos se orienta a la conservación y ahorro de materias primas, insumos, agua y energía; reducción y minimización de la cantidad y toxicidad de emisiones y residuos y eliminación de materias primas tóxicas. En los productos se orienta a reducción de los impactos negativos que acompañan el ciclo de vida del producto, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final y en los servicios, se orienta a la incorporación de la dimensión ambiental, tanto en el diseño como en la prestación de los mismos.

### **7.2.3 Herramientas de la PML<sup>8</sup>**

Una herramienta es una técnica concreta para acceder y combinar información que nos permita tomar decisiones sobre cambios en la operación de una organización.

Para el caso de la producción más limpia, las herramientas son instrumentos que permiten definir el estado ambiental de un proceso o producto, bien sea administrativo o productivo y con base en el análisis de estos resultados, establecer los objetivos ambientales del sistema de gestión ambiental, apoyar la

---

<sup>7</sup> EPA. La Producción Más Limpia. [En línea]. [Consultado el 15 de septiembre de 2008]. Disponible en [http://www.epa.qld.gov.au/environmental\\_management/sustainability/industry/cleaner\\_production/](http://www.epa.qld.gov.au/environmental_management/sustainability/industry/cleaner_production/)

<sup>8</sup> HOOF van Bart y SAER Alex. Introducción a la Producción más Limpia. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial. Bogotá 2004

implementación del mismo y verificar los resultados. La PML cuenta varias herramientas, entre las que se encuentran:

### **7.2.3.1 Eco-mapa**

El eco-mapa es una herramienta sencilla y de fácil de aplicación que permite hacer un inventario rápido de prácticas y problemas de múltiples variables por medio del uso de figuras.

El uso de eco-mapas trae como ventaja principal que cualquier persona de una empresa u organización pueda utilizarlo como un apoyo a su trabajo y entrenamiento y hacerlo sin necesidad de procedimientos complicados que dificulten su aplicación.

En los eco-mapas se identifican las entradas y salidas, los peligros potenciales y si existe un problema de particular interés se elabora un mapa específico que aborde tal situación.

### **7.2.3.2 Eco-balances**

La función principal del eco-balance es acopiar y organizar datos para evaluar estrategias de prevención de la contaminación, reducción de costos y administración ambiental y financiera y por otro lado, permite identificar las áreas del proceso productivo que requieren la intervención para mejorar el desempeño ambiental.

El eco-balance es un método estructurado para reportar los flujos, hacia el interior y el exterior, de recursos, materia prima, energía, productos, subproductos y residuos que ocurren en una organización en particular y durante un cierto periodo de tiempo.

Por otro lado, los eco-balances cumplen una función de diagnóstico ya que sirven para identificar que procesos están siendo más ineficientes. Así mismo, esta

herramienta está enfocada hacia el proceso y produce información de tipo cuantitativo.

### **7.2.3.3 Análisis de flujo de sustancias**

Dentro de las herramientas más comunes para el análisis industrial se encuentra el análisis de flujo, que se hace de acuerdo a una sustancia específica, la cual es una representación gráfica de cada uno de los pasos de un proceso productivo, desde la entrada de materia prima al sistema, su transformación, hasta que termina como producto.

### **7.2.3.4 Matriz MED**

Continuando con la descripción de las herramientas de PML, el nombre de matriz MED, responde a las iniciales de Materiales, Energía y Desechos, y tiene como función principal determinar la relación directa de los efectos generados por los diferentes impactos ambientales con miras a prevenirlos y minimizarlos y obtener así como resultado un proceso productivo más limpio controlando los diferentes efectos. Adicionalmente, esta herramienta permite analizar el perfil ambiental del producto considerando los impactos ambientales en todas las etapas del ciclo de vida.

### **7.2.3.5 Análisis de Ciclo de Vida**

Otra herramienta de la producción más limpia es el análisis del ciclo de vida, que se utiliza para predecir y comparar los impactos ambientales de un producto o servicio, “desde la cuna a la tumba”. Esta técnica examina cada etapa del ciclo de vida, desde la extracción de materias primas, siguiendo con la fabricación, distribución, uso, posible uso/reciclado y disposición final. Para cada etapa se calculan las entradas (en términos de materias primas y de energía) y salidas (en términos de emisiones al aire, agua y residuos sólidos) y se totalizan para todo el ciclo de vida.

#### **7.2.4 Beneficios de la producción más limpia**

Los beneficios que se pueden obtener con la implementación de estrategias de PML son los siguientes.

- Conduce al mejoramiento de los productos y procesos.
- Se obtienen ahorros en materias primas y energía, al reducir los costos de producción.
- Aumenta la competitividad a través de la utilización de nuevas tecnologías.
- Reduce la necesidad de una mayor reglamentación ambiental.
- Reduce el riesgo en y fuera del lugar de almacenamiento, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos.
- Mejora la salud y la seguridad de los empleados.
- Mejora la imagen pública de las empresas e instituciones.
- Reduce el costo cada vez más alto de las soluciones de final de tubo.

#### **7.2.5 Contaminación atmosférica**

La condición atmosférica, en la que existen sustancias con concentraciones más altas que el fondo normal o que los niveles del ambiente, está contaminada si tiene efectos que se puedan medir sobre los humanos, animales, flora, o materiales<sup>9</sup>.

En otras palabras, se entiende por contaminación atmosférica cualquier alteración de la atmósfera terrestre susceptible de causar impacto ambiental por la adición de gases o partículas sólidas o líquidas en suspensión en proporciones distintas a las naturales, que pueda poner en riesgo a personas, animales y plantas, así como atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables.

---

<sup>9</sup> KIELY Gerard. Ingeniería Ambiental; Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión vol II. Madrid: Editorial Mc Graw Hill, 1999. p 456.

Esta clase de contaminación, se aplica por lo general a las alteraciones que tienen efectos perjudiciales sobre la salud de los seres vivos y los elementos materiales, y no a otras alteraciones inocuas, cuyas fuentes generadoras son los procesos industriales que implican combustión, tanto en industrias como en automóviles y calefacciones residenciales, que generan dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, entre otros contaminantes. Igualmente, algunas industrias emiten gases nocivos en sus procesos productivos, como cloro o hidrocarburos que no han realizado combustión completa.

La contaminación atmosférica puede tener carácter local, cuando los efectos ligados al foco se sufren en las inmediaciones del mismo, o planetario, cuando por las características del contaminante, se ve afectado el equilibrio general del planeta y zonas alejadas a las que contienen los focos emisores.

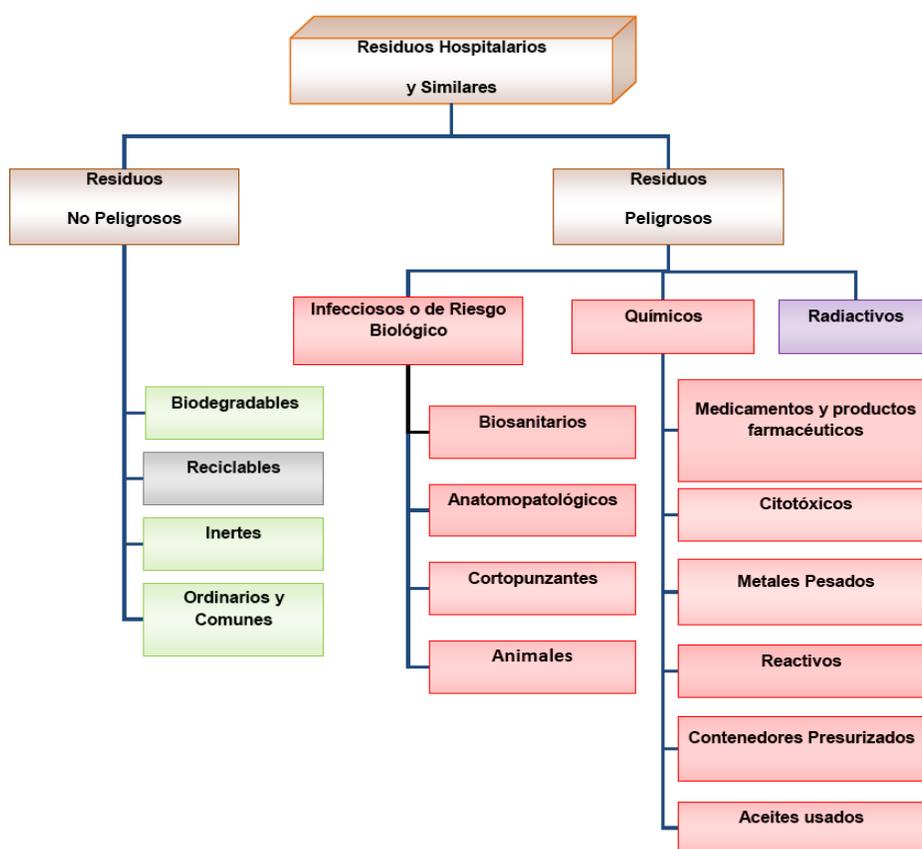
#### **7.2.5.1 Contaminación atmosférica por dioxinas y furanos**

Las dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD) y dibenzofuranos (PCDF) son compuestos organoclorados tóxicos formados como productos secundarios de diversos procesos de la industria química y de combustión. La posición y el número de átomos de cloro en los anillos de benceno de las moléculas de PCDD/Fs conduce a 75 compuestos individuales o congéneres de PCDDs y 135 de PCDFs. Su elevado carácter lipofílico favorece que se acumulen en los suelos, sedimentos, plantas, tejido adiposo humano y animal. A partir de estudios de diversos episodios de contaminación, el Instituto de Medicina Norteamericano ha tenido especial evidencia de que la exposición a PCDD/Fs a través de la cadena alimenticia e inhalación provoca en el hombre diversos síntomas de toxicidad: cutáneos, sistémicos y neuro-psíquicos. En cuanto a los efectos carcinogénicos, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) reclasificó esta sustancia en 1997 desde el grupo II de su clasificación: "probable agente

cancerígeno en humanos” al grupo I: “conocido agente cancerígeno en humanos”.<sup>10</sup>

## 7.2.6 Clasificación de los Residuos Hospitalarios y Similares

Según el MAVT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) y el Ministerio de Protección Social, los residuos generados en los establecimientos de salud se clasifican en residuos peligrosos y no peligrosos y estos a su vez se encuentran divididos en diferentes tipos de residuos, tal como se observa en el diagrama 2<sup>11</sup>



**Diagrama 2: Clasificación de Residuos Hospitalarios y Similares (fuente Decreto 2676 de 2000)**

<sup>10</sup> CAMP FUSTER Gerad. Análisis de Flujos y Substancias: Una herramienta aplicada a la evaluación de riesgos por dioxinas en la provincia de Tarragona. Tesis Doctoral. Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud. Universidad Rovira I Virgili. Tarragona, 2002. [En línea]. [Consultado el 10 de septiembre de 2008]. Disponible en [http://www.tesisenxarxa.net/TESIS\\_URV/AVAILABLE/TDX-0606103-090636/](http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_URV/AVAILABLE/TDX-0606103-090636/)

<sup>11</sup> MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares. Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares para Pequeños Generadores. Bogotá. Versión 1 2007.

### 7.2.6.1 Residuos no peligrosos

Los residuos no peligrosos son producidos por el generador en cualquier lugar y en desarrollo de su actividad y presentan un riesgo mínimo para la salud humana y/o el medio ambiente. Estos están conformados por:

- **Biodegradables:** Están conformados por restos químicos o naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente. En estos restos se encuentran los vegetales, residuos alimenticios no infectados, papel higiénico de áreas administrativas, papeles no aptos para reciclaje, jabones y detergentes biodegradables, madera y otros residuos que puedan ser transformados fácilmente en materia orgánica.
- **Reciclables:** No se descomponen fácilmente y pueden volver a ser utilizados en procesos productivos como materia prima. Entre estos residuos se encuentran: papel periódico algunos papeles y plásticos, chatarra, vidrio, telas, radiografías, partes y equipos obsoletos o en desuso, entre otros.
- **Inertes:** Son aquellos que no se descomponen ni se transforman en materia prima y su degradación natural requiere grandes períodos de tiempo. Entre estos se encuentran: el icopor, algunos tipos de papel como el papel carbón y algunos plásticos. También deben ser considerados en esta clasificación, aquellos residuos radiactivos que cumplieron con el tiempo de decaimiento, y que por lo tanto ya no emiten ningún tipo de radiación.
- **Ordinarios o comunes:** Se generan en el desempeño normal de las actividades. Estos residuos se generan en oficinas, pasillos, áreas comunes, cafeterías, salas de espera, auditorios y en general en todos los sitios del establecimiento del generador.

### 7.2.6.2 Residuos peligrosos

Los residuos peligrosos son aquellos producidos por el generador que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas, o radiactivas, pueden causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Así mismo se consideran residuos o desechos peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos, los cuales se clasifican en:

### 7.2.6.3 Residuos Infecciosos o de Riesgo Biológico

Los residuos infecciosos o de riesgo biológico son aquellos que contienen microorganismos patógenos tales como bacterias, parásitos, virus, hongos, virus oncogénicos y recombinantes como sus toxinas, con el suficiente grado de virulencia y concentración que pueda producir una enfermedad infecciosa en huéspedes susceptibles.

A su vez, todo residuo que se sospeche haya sido mezclado o haya entrado en contacto con residuos infecciosos (incluyendo restos de alimentos parcialmente consumidos o sin consumir que han tenido contacto con pacientes considerados de alto riesgo) o genere dudas en su clasificación, debe ser tratado como residuo infeccioso o de riesgo biológico. Los residuos infecciosos o de riesgo biológico se clasifican bajo la corriente Y1 de la lista nacional de residuos o desechos peligrosos, de acuerdo al decreto 4741 de 2005 y sub-clasifica en las siguientes categorías:

- **Biosanitarios:** Son elementos utilizados y descartados durante la ejecución de los procedimientos asistenciales que algunos casos tienen contacto con materia orgánica, sangre o fluidos corporales del paciente. Ejemplo de ellos son: gasas, apósitos, aplicadores, algodones, drenes, vendajes, mechas, guantes, bolsas para transfusiones sanguíneas, catéteres, equipos de

venoclisis, sondas, sistemas cerrados y sellados de drenajes, ropas desechables o cualquier otro elemento desechable.

- **Anatomopatológicos:** Estos residuos son provenientes de restos humanos, muestras para análisis, incluyendo biopsias, tejidos orgánicos amputados, partes y fluidos corporales, que se remueven durante cirugías, necropsias, o como resultado de las muestras biológicas para análisis químico, microbiológico, citológico o histológico.
- **Cortopunzantes:** Son aquellos que han estado en contacto con humanos o animales o sus muestras biológicas durante el diagnóstico y tratamiento, y que por sus características punzantes o cortantes pueden originar un accidente percutáneo infeccioso. Entre estos residuos se encuentran limas, lancetas, cuchillas, agujas hipodérmicas, de acupuntura y para tatuaje, restos de ampollitas, pipetas, láminas de bisturí o vidrio material de laboratorio como tubos capilares, de ensayo, láminas portaobjetos y laminillas cubreobjetos. También la cristalería entera o rota, y cualquier otro elemento que por sus características cortopunzantes pueda lesionar y ocasionar un accidente infeccioso forman parte de esta categoría.
- **De animales:** Proviene de animales de experimentación, inoculados con microorganismos patógenos y/o provenientes de animales portadores de enfermedades infectocontagiosas. Se incluyen en esta categoría los animales u órganos infectados con microorganismos patógenos y los decomisos no aprovechables generados en las plantas de beneficio de animales.

#### 7.2.6.4 Residuos Químicos

Estos residuos están constituidos por restos de sustancias químicas, sus envases y empaques o cualquier otro residuo contaminado con estos, los cuales,

dependiendo de su concentración y tiempo de exposición tienen el potencial para causar la muerte, lesiones graves o efectos adversos a la salud y el medio ambiente; su clasificación es la siguiente:

- **Medicamentos y productos farmacéuticos:** Son medicamentos vencidos, deteriorados, alterados y/o excedentes de sustancias que han sido empleadas en cualquier tipo de procedimiento, dentro de los cuales se incluyen los residuos producidos en preparaciones magistrales de medicamentos, incluyendo sus empaques y envases.
- **Residuos citotóxicos:** Son los excedentes de fármacos provenientes de tratamientos oncológicos y elementos utilizados en su aplicación.
- **Metales pesados:** Están conformados por objetos, elementos o restos de estos en desuso, contaminados o que contengan metales pesados como: plomo, cromo, cadmio, antimonio, bario, níquel, estaño, vanadio y zinc. El mercurio también forma parte de esta categoría y es procedente del servicio de odontología en procesos de retiro o preparación de amalgamas, y por el rompimiento de termómetros.
- **Reactivos:** Son aquellos que al mezclarse o al entrar en contacto con otros elementos, compuestos, sustancias o residuos, generan gases, vapores, humos tóxicos, explosión o reaccionan térmicamente colocando en riesgo la salud humana o el medio ambiente. Incluyen los residuos líquidos de revelado y fijado, de laboratorios, medios de contraste, reactivos de diagnóstico in vitro y de bancos de sangre.
- **Contenedores presurizados:** Son los contenedores presurizados que contienen gases anestésicos, medicamentos, óxidos de etileno, entre otros.

- **Aceites usados:** Son aceites con base mineral o sintética que se han convertido o tornado inadecuados para el uso asignado o previsto inicialmente, tales como: lubricantes de motores y de transformadores y grasas.

#### **7.2.6.5 Residuos Radiactivos**

Los residuos radioactivos son sustancias emisoras de energía predecible y continua en forma alfa, beta o de fotones, cuya interacción con materia puede dar lugar a rayos X, neutrones o cualquier tipo de radiación nociva para la salud. Debe entenderse que estos contienen o están contaminados por radionúclidos en concentraciones o actividades superiores a los niveles de exención establecidos por la autoridad competente para el control del material radiactivo, y para los cuales no se prevé ningún uso.

Esos materiales se originan por la utilización de fuentes radiactivas adscritas a una práctica y se retienen con la intención de restringir las tasas de emisión a la biosfera, independientemente de su estado físico.

#### **7.2.7 Residuos de bolsas tipo viaflex, equipos de venoclisis y guantes quirúrgicos**

Como ya se mencionó en párrafos anteriores, los residuos de equipos de venoclisis (utilizado para la administración de medicamentos o líquidos a través de las venas a pacientes delicados), guantes quirúrgicos y bolsas tipo viaflex (bolsas que contienen líquidos como solución salina, dextrosa, harman y agua estéril), son aquellos que forman parte de los elementos utilizados y descartados durante la ejecución de los procedimientos asistenciales, que en algunos casos tienen contacto con materia orgánica, sangre o fluidos corporales del paciente y están incluidos dentro la categoría de biosanitarios.

### **7.2.7.1 Características y composición de los equipos de venoclisis, bolsas tipo viaflex y guantes quirúrgicos**

Los equipos de venoclisis y las bolsas tipo viaflex están constituidos de un tipo de plástico denominado PVC Suspensión Flexible, en cuya composición están presentes tres elementos naturales como lo son el carbono e hidrógeno, en forma de etilo, derivado el petróleo o gas y cloro, obtenido a partir de la sal común<sup>12</sup>. Mediante la combinación del etilo y el cloro se obtiene el cloruro de vinilo, que a su vez se polimeriza mediante procesos de suspensión, emulsión o masa, para obtener el PVC (cloruro de polivinilo) y según el uso deseado, se mezcla con diversos aditivos, para obtener productos de PVC rígidos o flexibles, transparentes u opacos y adquirir cualquier forma o color<sup>13</sup>.

Por otra parte, los guantes quirúrgicos están constituidos por caucho que es una sustancia natural o sintética que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. El caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, que se encuentra en numerosas plantas. El caucho sintético se prepara a partir de hidrocarburos insaturados<sup>14</sup>.

### **7.2.8 Inactivación de los residuos hospitalarios y similares**

De manera amplia, el termino *inactivación* se refiere a cualquier método, técnica o proceso físico, químico, térmico o biológico diseñado para cambiar la composición de un residuo peligroso o modificar sus propiedades físicas, químicas o biológicas de modo de transformarlo en no peligroso o bien en menos peligroso a efectos de hacer más seguras las condiciones almacenamiento, transporte o disposición final<sup>15</sup>.

---

<sup>12</sup> . <sup>13</sup>MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Guías Ambientales Sector Plásticos. Bogotá. 2004. p 15.

<sup>14</sup> EPOBIO. Alternative Sources of Natural Rubber. 2006 . En línea]. [Consultado el 23 de septiembre de 2008]. Disponible en [http://www.epobio.net/pdfs/0611NaturalRubberReport\\_c.pdf](http://www.epobio.net/pdfs/0611NaturalRubberReport_c.pdf) -

<sup>15</sup>BRION Jorge. Manejo de Residuos Patogénicos. CEAMSE. 1998. [En línea]. [Consultado el 8 de agosto de 2008]. Disponible <http://www.ceamse.gov.ar>

### **7.2.8.1 El tratamiento térmico de inactivación<sup>16</sup>**

El tratamiento de inactivación de los residuos hospitalarios puede resultar peligroso para las personas que entran en contacto con ellos. El principal objetivo del tratamiento térmico es hacer residuos seguros para su gestión. Los residuos tratados, tienen la posibilidad de que sean aceptables para la reutilización, el reciclado o eliminación en rellenos sanitarios, siempre y cuando, ese objetivo se cumpla y no sean reconocibles como procedentes de la asistencia sanitaria o médica. La inactivación en una planta de tratamiento con calor no debe implicar un riesgo inaceptable para la gestión de los residuos, para el personal o el público, ni mucho menos ser un estorbo.

A partir de los anteriores principios generales vienen objetivos importantes para el diseño de la inactivación con calor. Un requisito fundamental, es que se logre una reducción suficiente del contenido o presencia de los agentes biológicos en los residuos. Este requisito significa que las condiciones de funcionamiento (por ejemplo, la temperatura, y el tiempo de mantenimiento de esa condición), medidas por la diferente instrumentación de las plantas, son lo suficientemente rigurosas, y que los residuos se encuentran en una forma que alcanza la totalidad de las condiciones indicadas.

### **7.2.8.2 Resistencia de las bacterias a la acción del calor<sup>17</sup>**

Las bacterias vegetativas incluyendo el *Mycobacterium tuberculosis* pueden morir rápidamente en agua caliente entre 65 y 100°C, el *Streptococcus faecalis* se ha visto que tiene una alta resistencia dentro de las especies comunes de las bacterias Gran negativas. Similar resistencia al calor puede presentarse en bacterias no esporuladas que pueden ser aislados de agua caliente que es

---

<sup>16</sup> SCOTTISH HOSPITAL TECHNICAL NOTE 3. Management and Disposal of Clinical Waste. 2000. [En línea]. [Consultado el 15 de agosto de 2008]. Disponible [http://www.sehd.scot.nhs.uk/pca/PCA2004\(M\)14.pdf](http://www.sehd.scot.nhs.uk/pca/PCA2004(M)14.pdf)

<sup>17</sup> MORA GUEVARA Luis Alfredo. Manual de bioindicadores y otras técnicas de control en la esterilidad por calor seco y húmedo. Universidad Autónoma de México. 1998 [En línea]. [Consultado el 20 de Septiembre de 2008]. Disponible <http://www.unam.mx/interna.html?n=0&m=7>

suministrada de hospitales (Pask-Hughes & William, 1975). La resistencia al calor de la Salmonella en alimentos se incrementa con la disminución de la actividad del agua pero varía con el tipo y especies de cepas de este microorganismo y las condiciones de crecimiento, también así como la composición del alimento.

La mayoría de los virus y los hongos son muertos dentro de un rango de temperatura de entre 65 y 100°C, pero la ebullición en autoclave es recomendada para la inactivación de virus asociados con sangre o tejidos, como por ejemplo el de la hepatitis B y el VIH. La mayoría de los VIH son inactivados por calor húmedo a 60°C por 30 minutos (Cuthberton et al. 1987). Estos virus probablemente mueren por agua hirviendo en pocos minutos, pero el periodo de 20 minutos es el recomendado por la OMS.

El calor seco de entre 60 a 68°C por 72 horas inactiva el VIH, en hielo seco tiende a coagularse. El calor seco a 80°C durante 72 horas inactiva el virus de la hepatitis C y en concentraciones de hielo seco (Calvin et al. 1988). En un calentamiento a 134°C por 18 minutos en un sistema de esterilización por prevacío es recomendado para inactivar el agente Creutzfeldt-Jacob en tejido cerebral (Kimberlin et al. 1983).

Las esporas de hongo son susceptibles al agua hirviendo, pero las ascosporas de *Byssochlamys fulva*, las cuales causan contaminación en ciertas frutas como la mora y la zarzamora pueden sobrevivir si la temperatura no sobrepasa los 98°C (Olliver & Rendle 1984).

Los quistes amibianos de *Acanthamoeba polyphaga* pueden causar infecciones a personas que usan lentes de contacto, requieren de temperaturas por arriba de los 65°C para ser inactivados por calor húmedo.

Temperaturas superiores a 100°C son requeridas usualmente para matar esporas bacterianas, pero el niveles de resistencia al calor de variedades salvajes si va de

acuerdo a cada una de las especies. Esporas de *Clostridium botulinum* tipo E, *Bacillus anthracis* y *Clostridium perfringens* son relativamente sensibles. Más especies patógenas incluyendo el *Clostridium tetani*, producen esporas más resistentes. La alta resistencia ocurre en especies termófilas, como es el caso del *Bacillus sterothermophilus*.

Diferentes tipos de microorganismos están agrupados en la tabla 1, de acuerdo a su relativa resistencia al calor húmedo:

**Tabla 1. Resistencia relativa de los microorganismos al calor húmedo<sup>18</sup>**

| Grado de resistencia        | Tipo de microorganismo  |
|-----------------------------|---|
| Extremadamente susceptibles | Bacterias no esporuladas incluyendo el <i>Mycobacterium tuberculosis</i> , virus (no protegidos de material biológico), hongos y levaduras (crecimiento vegetativo) |
| Susceptibilidad moderada    | Virus (con sangre o tejido)<br>Esporas de hongos<br>Estreptococcus del grupo D ( <i>Sterococcus faecalis</i> )  |
| Resistencia ligera          | Esporas de:<br><i>Bacillus anthracis</i><br><i>Clostridium botulinum</i> tipo E<br><i>Clostridium perfringens</i>   |
| Resistencia moderada        | Esporas de:<br><i>Bacillus subtilis</i><br><i>Clostridium botulinum</i> tipo A  |
| Resistencia alta            | Esporas de <i>Bacillus sterothermophilus</i>  |
| Extremadamente resistente   | Prion (agente Creutzfeldt-Jacob)  |

### 7.2.8.3 Inactivación por autoclave de calor húmedo

Los sistemas de desinfección de residuos sanitarios tratan de conseguir una esterilización y descontaminación controlada mediante vapor de agua, tras la cual los residuos ya pueden aprovecharse o disponerse en un relleno sanitario.

<sup>18</sup> GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES. Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares. Manual de Procedimientos. Versión 2006.

El concepto de esterilización implica la muerte o inactivación de todos los microorganismos capaces de propagarse. Esto se consigue con una reducción del número de gérmenes de, al menos, 6 potencias decimales. Sanitariamente hablando, la desinfección térmica de determinados residuos sanitarios es un sistema que puede considerarse suficientemente eficaz. El proceso tiene que eliminar todas las formas vegetativas de bacterias, microbacterias, hongos y esporas de hongos, así como virus y esporas de *Bacillus Antracis*. Una esterilización adecuada para aquellas esporas infectantes con nivel de resistencia 3 (tétanos o gangrena, por ejemplo)<sup>19</sup>.

La esterilización con vapor o autoclavado consiste en la exposición de los desechos a vapor saturado a presión, en un recipiente a presión o autoclave. A menos que se agregue un triturador, la tecnología no convierte a los desechos en irreconocibles ni reduce el volumen de los mismos. Pueden generarse olores ofensivos que, no obstante, pueden minimizarse mediante equipamiento apropiado de manejo de aire<sup>20</sup>.

Se dispone de autoclaves en una amplia gama de tamaños, desde unidades que sólo tratan unos pocos kilos por ciclo hasta otras de varias toneladas por ciclo. Los costos de capital son relativamente bajos comparados con los de otras técnicas alternativas. Debe inspeccionarse a los autoclaves al menos una vez al año para determinar si existen cambios significativos respecto a las lecturas previas de perfiles temperatura-tiempo, vacío y presión de vapor<sup>21</sup>.

El ciclo de tratamiento está determinado por la habilidad del calor para penetrar en la carga de desechos. Algunos tipos de desechos o de configuraciones de carga que crean barreras para la transferencia de calor requieren mayores tiempos de

---

<sup>19</sup> BARRIONUEVO GIMÉNEZ Rafael. Manual de Gestión para Residuos de Centros Hospitalarios. Universidad de Vigo 2004. En línea. [Consultado el 13 de julio de 2008]. Disponible [http://www.giresol.org/index2.php?option=com\\_docman](http://www.giresol.org/index2.php?option=com_docman)

<sup>20, 21, 22</sup> PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. Conferencia de las Partes en el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes. Primera reunión. Uruguay 2005. [En línea]. [Consultado el 22 de abril de 2009]. Disponible <http://www.chm.pops.int/Portals/0/.../UNEP-POPS-COP.4-12.Spanish.PDF>

exposición y/o temperaturas más altas. Debe controlarse con medios apropiados, el nivel adecuado de desinfección (por ejemplo, cintas indicadoras, pruebas microbiológicas)<sup>22</sup>.

#### **7.2.8.4 Componentes de una autoclave de calor húmedo**

La autoclave de calor húmedo consta de una cámara de metal sellada por una puerta de carga y está rodeada por una chaqueta de vapor. El vapor es introducido en la camisa y al interior de la cámara, la cual está diseñada para soportar altas presiones. La chaqueta de calentamiento reduce la condensación en el interior del sistema y permite la utilización del vapor a temperaturas más bajas<sup>23</sup>.

Debido a que el aire es un aislante eficaz, su eliminación es esencial para garantizar la penetración del calor en los residuos, que puede hacerse en dos formas generales: por gravedad y por prevacío. Los sistemas por gravedad aprovechan el hecho de que el vapor es más ligero que el aire, que al ser introducido a presión obliga al éste a desplazarse hacia abajo para evacuarse a través de un puerto de salida o por la línea de desagüe ubicada en la parte inferior de la cámara<sup>24</sup>.

Un método más eficaz es el uso de una bomba de vacío para evacuar el aire antes de introducir el vapor, necesitándose menos tiempo para la inactivación debido a su mayor eficiencia en el desplazamiento del aire<sup>25</sup>.

---

<sup>23, 24, 25</sup> NOHARM. Low-Heat Technologies: Autoclaves, Microwaves, and Other Steam-Based Systems. 2007. [En línea]. [Consultado el 8 de abril de 2009]. Disponible [http://www.noharm.org/.../Non-Incineration\\_Medical\\_Waste\\_Treatment\\_Te\\_7.pdf](http://www.noharm.org/.../Non-Incineration_Medical_Waste_Treatment_Te_7.pdf)

<sup>26</sup> MISSION COLLEGE. Control of Microbial Growth. 2009. [En línea]. [Consultado el 8 de abril de 2009]. Disponible <http://www.lamission.edu/lifesciences/lecturenote/.../Chap07Control.pdf>

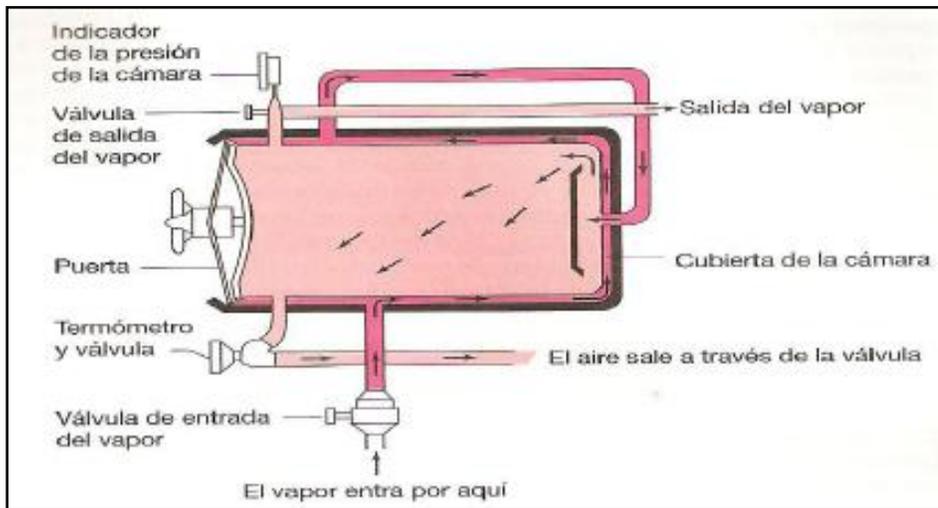


Figura No. 1 Mecanismo de funcionamiento y componentes de una autoclave de calor húmedo<sup>26</sup>

#### 7.2.8.5 Residuos que pueden ser tratados en autoclaves de calor húmedo

Entre los residuos que comúnmente son tratados en autoclaves se encuentran: cortopunzantes, materiales contaminados con sangre y cantidades limitadas de líquidos, desechos de cirugía, residuos de laboratorio (excepto residuos químicos), residuos blandos (gasas, vendas, paños, batas, ropa de cama, etc.) generados por la atención de los pacientes.

#### 7.2.8.6 Emisiones y residuos generados por el proceso de autoclavado<sup>27</sup>

Las emisiones más importantes que se generan en el tratamiento con calor húmedo están relacionadas con olores que puede causar dificultades si no hay suficiente ventilación.

Si los residuos incorporados a la autoclave no están debidamente separados de

<sup>27</sup> KENNEDY Edward M. Finding the Rx for Managing Medical Wastes. 2000. [En línea]. [Consultado el 11 de enero de 2009]. Disponible [http:// www.fas.org/ota/reports/9018.pdf](http://www.fas.org/ota/reports/9018.pdf)

productos químicos peligrosos, se pueden liberar contaminantes tóxicos a la atmósfera, en los condensados o en los residuos tratados, como por ejemplo, cuando cargas de residuos contaminados con fármacos o metales pesados como el mercurio se ponen en el autoclave.

Algunas investigaciones indican que las dioxinas se forman a temperaturas entre 480 a 840°F (250 a 450°C), muy por encima del rango de funcionamiento de las autoclaves. Por otra parte, se cree que la reacción para la formación de dioxinas, es catalizada por las cenizas volantes creadas durante la combustión en presencia de metales y fuentes de cloro. Tanto el mencionado rango de temperatura y las cenizas volantes no se encuentran en las autoclaves, debido a que allí no se da lugar a combustiones.

#### **7.2.8.7 Ventajas del autoclavado con calor húmedo<sup>28</sup>**

- El tratamiento con vapor es una tecnología probada con una larga y exitosa trayectoria.
- La tecnología es fácilmente comprensible y fácilmente aceptada por el personal de las instituciones de salud y de las comunidades.
- Es aprobado o aceptado como una tecnología alternativa para la gestión de residuos sólidos hospitalarios.
- Los parámetros de tiempo y temperatura necesarios para alcanzar altos niveles de inactivación están bien establecidos.
- Las autoclaves están disponibles en una amplia gama de tamaños, con capacidades de tratamiento de unas pocas libras hasta varias toneladas por hora.

---

<sup>28,29</sup> NHMRC. National Guidelines Waste Management in the Health Care Industry. 2008 . [En línea]. [Consultado el 10 de marzo de 2009]. Disponible <http://www.nhmrc.gov.au/PUBLICATIONS/synopses/.../eh11.pdf>

- Si se toman las precauciones adecuadas y se excluyen de los tratamientos materiales peligrosos, las emisiones de las autoclaves son mínimas.
- Los costos de capital son relativamente bajos en comparación con otras alternativas, como la incineración.
- Existe una gran variedad de equipos en el mercado que ofrecen muchas características y opciones programables, como control automático, registro permanente de parámetros de tratamiento, entre otras.

#### **7.2.8.8 Desventajas del autoclavado con calor húmedo<sup>29</sup>**

- La tecnología no hace irreconocible los residuos y no reduce el volumen de los mismos, a menos de que exista una fragmentación o trituración.
- En términos generales, la presencia de un objeto metálico en los residuos puede dañar cualquier sistema de trituración.
- Pueden generarse olores ofensivos, pero pueden controlarse con la ayuda de equipos de ventilación.
- Si productos químicos peligrosos, tales como el formaldehído, fenol, agentes citotóxicos, o mercurio están presentes en los residuos tratados, se liberan contaminantes tóxicos en el aire, en las aguas residuales, o permanecen en los residuos que a su vez generan lixiviados.
- Si la tecnología no incluye una manera de secar los residuos, después del tratamiento serán más pesados que cuando se puso por primera vez, debido a la condensación del vapor.

### **7.2.8.9 Parámetros operativos de la autoclave de calor húmedo<sup>30</sup>**

Los factores que afectan la eficacia de la inactivación en autoclave, se enmarcan en tres parámetros operativos básicos: a) temperatura interna del compartimiento donde están los residuos; b) presión de la corriente de vapor y c) tiempo de residencia (duración del tratamiento).

Otros factores de importancia incluyen:

Cantidad de residuos tratada (carga).

Caracterización de los residuos (tipos de residuos a tratar).

Empaque de los residuos.

Disposición dentro de la autoclave.

#### **7.2.8.9.1 Tiempo, Temperatura y Presión**

Las autoclaves de vapor a presión, (generalmente en condiciones de saturación), operan de forma más efectiva cuando la temperatura se distribuye uniformemente en todo el volumen de carga, es decir, cuando se logra un contacto homogéneo del vapor con los residuos en el interior de la autoclave. Por tanto, a una temperatura dada, el tiempo de residencia o duración del tratamiento será la variable a definir para garantizar el éxito de la inactivación.

El vapor saturado tiene algunas características que se consideran ventajosas para el desarrollo del proceso, incluyendo el hecho de favorecer un calentamiento y penetración rápida en los textiles, plásticos, la destrucción de las esporas bacterianas más resistentes, el no dejar residuos adicionales después del proceso de inactivación y finalmente, el constituir el método de inactivación de alta eficiencia más económico utilizado en la práctica a nivel nacional.

#### **Tabla 2. Propiedades del vapor saturado<sup>31</sup>**

---

<sup>30</sup> WORLD HEALTH ORGANIZATION. A Report on Alternative Treatment and Non-Burn Disposal Practices. 2005. [En línea]. [Consultado el 7 de agosto de 2009]. Disponible [http://www.searo.who.int/linkfiles/sde\\_sde\\_mgmt-bio-medical-obj.pdf](http://www.searo.who.int/linkfiles/sde_sde_mgmt-bio-medical-obj.pdf)

<sup>31</sup> GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES. Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares. Manual de Procedimientos. Versión 2006

| Presión absoluta  |      | Presión manométrica | Temperatura |     |
|---|------|---------------------|-------------|-----|
| Kpa   | psia | psig                | °F          | °C  |
| 100   | 14.7 | 0                   | 212         | 100 |
| 115   | 17   | 2.3                 | 219         | 104 |
| 130   | 20   | 5.3                 | 228         | 107 |
| 180   | 25   | 10                  | 240         | 117 |
| 200   | 27   | 12                  | 244         | 120 |
| 250   | 34   | 19                  | 258         | 127 |
| 300   | 50   | 35                  | 281         | 134 |
| 350   | 60   | 45                  | 293         | 139 |
| 400   | 70   | 55                  | 303         | 144 |
| 600   | 100  | 85                  | 328         | 159 |
| kPa = kilopascal; psia = libras por pulgada cuadrada (absoluta); psig = libras por pulgada cuadrada (manométrica) |      |                     |             |     |

La tabla 3 presenta una serie de rangos de operación para cada uno de los parámetros del proceso, que pueden ser utilizados como referencia por los diferentes actores involucrados en la gestión de los RHS, pero que deberán ajustarse a las condiciones que ofrezca cada equipo de autoclave.

**Tabla 3. Parámetros recomendados de operación en autoclaves**

| Temperatura | Presión | Tiempo |
|-------------|---------|--------|
| 121°C       | 15 psi  | 45 min |
| 135°C       | 31 psi  | 30 min |

#### 7.2.8.10 Niveles de Inactivación/desactivación microbiana<sup>32</sup>

La tabla 4 presenta una clasificación de los niveles de inactivación microbiana que se pueden alcanzar de acuerdo con el tratamiento que se utilice, es decir, mientras más microorganismos se destruyan se logrará un nivel de inactivación más alto.

<sup>32</sup> GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES. Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares. Manual de Procedimientos. Versión 2006.

**Tabla 4. Niveles de inactivación/desactivación microbiana**

| Nivel | Características   | Indicadores  |
|-------|---|--|
| 1     | <p>Destrucción de la mayoría de los microorganismos que pueden generar enfermedades infecciosas.</p> <p>Reducción de no menos de <math>10^5</math> de la escala logarítmica de bacterias vegetativas, hongos, esporas de hongos y virus</p> | <p>Se consigue a través de procesos físicos y químicos (desinfección). No se logra la inactivación de micobacterias y esporas bacterianas.</p>   |
| 2     | <p>Inactivación de todos los microorganismos con excepción de las esporas bacterianas. Corresponde a una inactivación de al menos <math>10^5</math> en el caso de micobacterias (de forma adicional a lo que se alcanza en el nivel 1)</p>  | <p>Este nivel constituye una medida de la actividad microbiana asociada a la tuberculosis. Se logra a través de una desinfección con agentes químicos fuertes aplicados en altas concentraciones.</p>  |
| 3     | <p>Destrucción de microorganismos a partir de la inactivación de no menos de <math>10^4</math></p> <p>-Indicadores de esporas.</p>  | <p>Las esporas de <i>Basillus subtilis</i> pueden ser utilizadas como indicadores de este nivel. Estas esporas tienen una resistencia a la temperatura similar a la de la especie <i>Clostridium</i>, conocida por generar especies patogénicas.</p> |
| 4     | <p>Destrucción de microorganismos a partir de una reducción mínima de <math>10^6</math> esporas bacterianas</p>   | <p>Se utiliza como indicador las esporas del <i>Basillus sterothermophilus</i> (inactivación de por lo menos <math>10^5</math>) por tratarse de la bacteria más resistente al calor.</p>   |

Cada nivel de inactivación dependerá de la resistencia de los microorganismos a procesos que van desde la desinfección hasta la esterilización. La tabla 5 indica la efectividad que se logra con el uso de autoclaves de calor húmedo (US EPA 1993).

**Tabla 5. Nivel de inactivación microbiana alcanzado con el uso de autoclaves**

| Autoclave   | Inactivación bacteriana |                      |                      |                      |
|---|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|   | Nivel 1 <sup>A</sup>    | Nivel 2 <sup>B</sup> | Nivel 3 <sup>C</sup> | Nivel 4 <sup>D</sup> |
| Autoclave portátil o de mesa  | SI                      | SI                   | SI                   | SI                   |
| Autoclave de laboratorio  | SI                      | SI                   | SI                   | SI                   |
| Autoclave industrial  | SI                      | SI                   | SI                   | SI                   |
| <sup>A</sup> Inactivación de 10 <sup>5</sup> bacterias vegetativas y hongos.<br><sup>B</sup> Inactivación de 10 <sup>5</sup> micobacterias.<br><sup>C</sup> Inactivación de 10 <sup>4</sup> B. subtilis.<br><sup>D</sup> Inactivación mínima de 10 <sup>6</sup> B. stearothermophilus o superior. |                         |                      |                      |                      |

## 8. METODOLOGÍA

### 8.1 Tipo de investigación

Corresponde a una investigación de tipo cuantitativa y su carácter es descriptivo y analítico.

### 8.2 Desarrollo Metodológico

#### 8.2.1 Momento 1. Acercamiento conceptual y metodológico

Aproximación conceptual a las temáticas inherentes al desarrollo del trabajo investigativo, como lo es el Desarrollo Sostenible, la Producción Más Limpia <PML>, métodos de inactivación con calor húmedo de los residuos de equipos de venoclisis, bolsas tipo viaflex y guantes quirúrgicos y herramientas de PML como los eco-balances.

#### 8.2.2 Momento 2. Selección de técnicas y construcción de herramientas para la recolección de información

Para el trabajo investigativo, se utilizaron técnicas consideradas inicialmente en CORPOCALDAS, la cual consistieron en consultar en las instituciones de salud, que tienen habilitados los servicios de urgencias, hospitalización y/o cirugía, el consumo mensual de soluciones, equipos de venoclisis y guantes quirúrgicos, para de esta manera establecer la cantidad de residuos de este tipo generados por las IPS que ofrecen los servicios mencionados, dentro del departamento de Caldas.

### **8.2.3 Momento 3. Clasificación y análisis de información obtenida en el momento 2**

Para el desarrollo del trabajo investigativo se tuvo en cuenta como población las IPS que tienen habilitados los servicios de urgencias, hospitalización y ó cirugía, según datos suministrados por la Dirección Territorial de Salud del departamento.

Para estimar la cantidad de residuos de bolsas tipo viaflex, equipos de venoclisis y guantes quirúrgicos que se generan en las IPS seleccionadas, se realizó un censo con la población, de tal manera que la cobertura fue total y los datos que se obtuvieron fueron más significativos.

Para evaluar la eficiencia de la inactivación, se contaminó a nivel de laboratorio material estéril de bolsas tipo viaflex, equipos de venoclisis y guantes quirúrgicos con cepas de pseudomona aeruginosa, cuya frecuencia es alta en las IPS y con bacillus stearothermophilus, bacteria termófila, cuya resistencia a la temperatura es muy alta.

La contaminación a nivel de laboratorio se llevó a cabo a través de una inoculación del material estéril con diferentes concentraciones de bacillus stearothermophilus y pseudomona aeruginosa, en presencia de una solución proteínica que sirvió como sustrato, de tal manera que se permitiera la creación de un ambiente propicio para

el crecimiento bacteriano y así garantizar el grado de contaminación necesaria para la realización de los diferentes procesos de inactivación.

El proceso de inactivación se ejecutó en las instalaciones de C.I. PLASTIGOMA S.A., en una autoclave de calor húmedo, en donde se encontraron las condiciones necesarias para garantizar la mortalidad de las bacterias presentes en los residuos.

#### **8.2.4 Momento 4. Elaboración y sistematización del informe final**

De acuerdo a los resultados obtenidos en cuanto a la estimación en la generación de los residuos de bolsas tipo viaflex, equipos de venoclisis y guantes quirúrgicos y a las diferentes inactivaciones a nivel industrial, se realizó el informe final, en el cual se incluyó la descripción de los procesos de transformación que se llevan a cabo en C.I PLASTIGOMA S.A. y los diferentes aspectos ambientales, económicos y sociales, que determinaron la viabilidad del aprovechamiento y valorización de los diferentes tipos de residuos estudiados.

#### **8.2.5 Momento 5. Socialización de los resultados obtenidos en el proceso de investigación a los actores intervinientes**

Se socializaron los resultados obtenidos a los diferentes actores relacionados con el trabajo investigativo como lo son C.I. PLASTIGOMA S.A., La Dirección Territorial del Departamento de Caldas y CORPOCALDAS.

### **8.3 Técnicas e instrumentos.**

- Observación directa.
- Encuestas.
- Inoculación a nivel de laboratorio de microbiología de material estéril de bolsas tipo viaflex, equipos de venoclisis y guantes quirúrgicos con cepas

ATCC 27853 de pseudomona aeruginosa y ATCC 12980 de bacillus stearothermophilus

- Inactivación del material contaminado con autoclave de calor húmedo a nivel industrial.
- Herramientas de Producción Más Limpia como los eco-balances para reportar los flujos hacia el interior y exterior de recursos, materia prima, energía, productos y residuos, que sirva para establecer el desempeño ambiental de los procesos en C.I PASTIGOMA S.A. y en el horno incinerador de propiedad de la empresa municipal de aseo.

## **9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

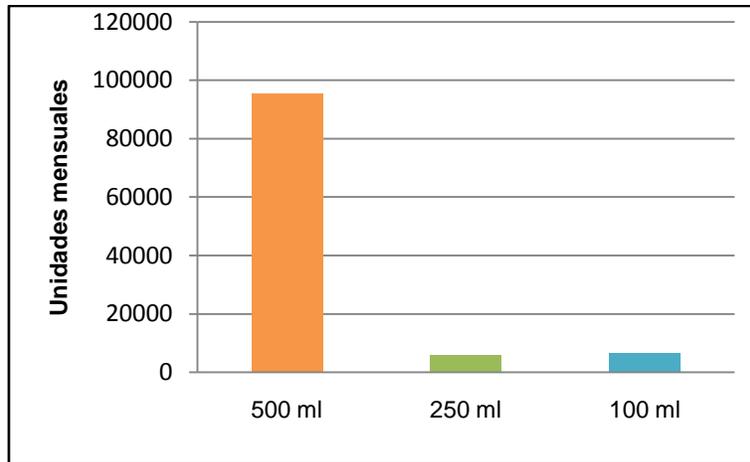
### **9.1 Cantidad de residuos de equipos de venoclisis, guantes quirúrgicos y bolsas tipo viaflex generados en las IPS censadas**

Para la estimación de la cantidad de residuos de bolsas tipo viaflex, equipos de venoclisis y guantes quirúrgicos se tuvo en cuenta como población las Instituciones Prestadoras de Salud (IPS) de baja, mediana y alta complejidad que tienen habilitados los servicios de urgencias, hospitalización y/o cirugía, de acuerdo a los datos suministrados por la Dirección Territorial de Salud del departamento de Caldas.

En ese sentido se realizó un censo con toda la población (anexo 1, Instrumento para la recolección de información) la cual está comprendida por 62 IPS (ver anexo 2, base de datos), para así obtener una información más representativa.

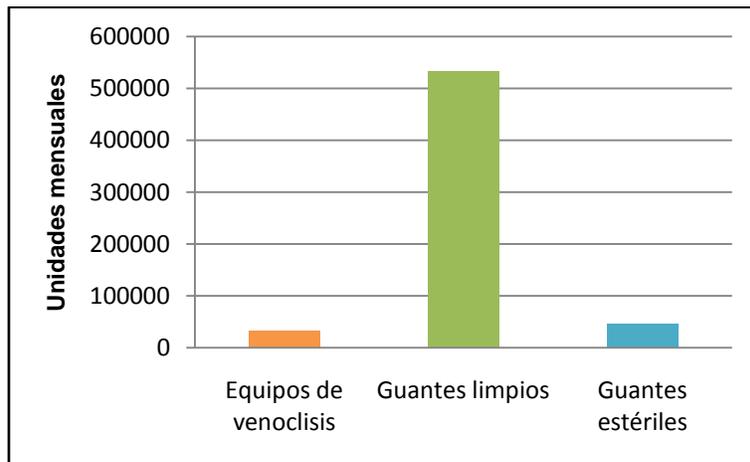
#### **9.1.1 Generación de bolsas tipo viaflex, guantes quirúrgicos y equipos de venoclisis en las IPS censadas**

En la gráfica 1 se observa que las IPS censadas generan un total de 107.751 und/mes de bolsas tipo viaflex, distribuidas de la siguiente manera: 95.412 und/mes de 500 ml, 5812 und/mes de 250 ml y 6.527 und/mes de 100 ml



Gráfica 1. Número de bolsas tipo viaflex generadas como residuo

En cuanto a los equipos de venoclisis, las IPS generan aproximadamente 33.226 unidades mensuales de equipos de venoclisis, 532.288 und/mes de guantes limpios y 45.963 und/mes de guantes estériles, tal como se observa en la gráfica 2



Gráfica 2. Número de equipos de venoclisis, guantes limpios y estériles generados como residuo

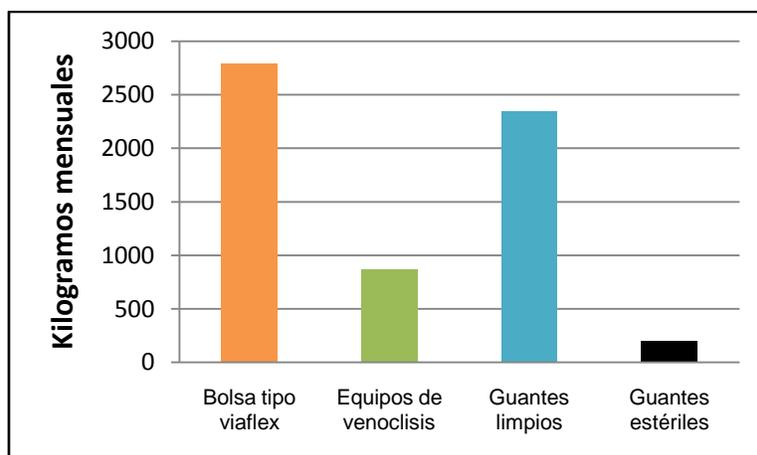
### 9.1.2 Generación en peso de residuos de bolsas tipo viaflex, guantes quirúrgicos y equipos de venoclisis

Teniendo en cuenta la tabla 6, en donde se especifica el peso en gramos por unidad de cada dispositivo o material objeto de estudio, la generación de bolsas tipo viaflex es de 2787,044 kilogramos mensuales, 870,638 kg/mes de equipos de

venoclisis, 2342,0668 kg/mes de guantes limpios y 202,1958 kg/mes de guantes estériles, como se muestra en la gráfica 3.

**Tabla 6. Peso del material por unidad**

| Material                     | Peso en gramos |
|------------------------------|----------------|
| <b>Bolsa tipo viaflex</b>    |                |
| 500 ml                       | 26.6           |
| 250 ml                       | 22.5           |
| 100 ml                       | 18             |
| <b>Equipos de venoclisis</b> | 26.2           |
| <b>Guantes</b>               | 4.4            |



**Gráfica 3. Kilogramos de residuos generados por tipo de material**

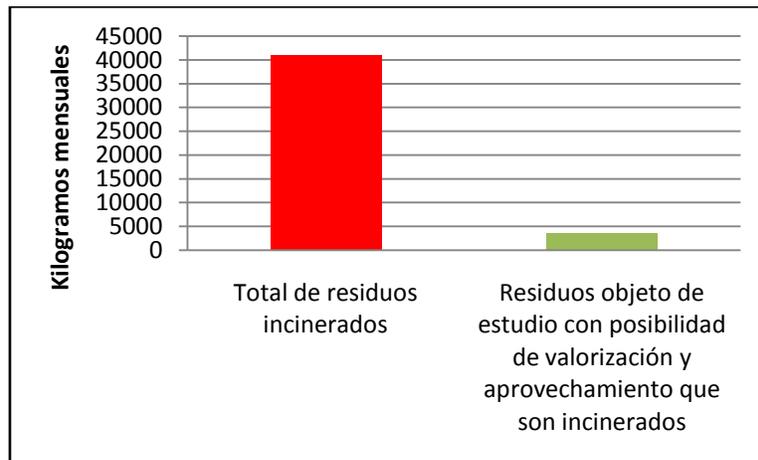
### 9.1.3 Cantidad de residuos que envían a incineración

En la gráfica 4 se observa que las IPS censadas envían a incineración alrededor de 40915 kg/mes, lo que corresponde aproximadamente al 81% del total de residuos que son incinerados en el departamento de Caldas, cantidad que asciende aproximadamente a 50.000 kg/mes<sup>33</sup>.

Por otro lado, forma parte de los residuos que actualmente se incineran, 3670,116 kg/mes, conformados por bolsas tipo viaflex, guantes quirúrgicos y equipos de

<sup>33</sup> Fuente: Empresa Metropolitana de Aseo EMAS

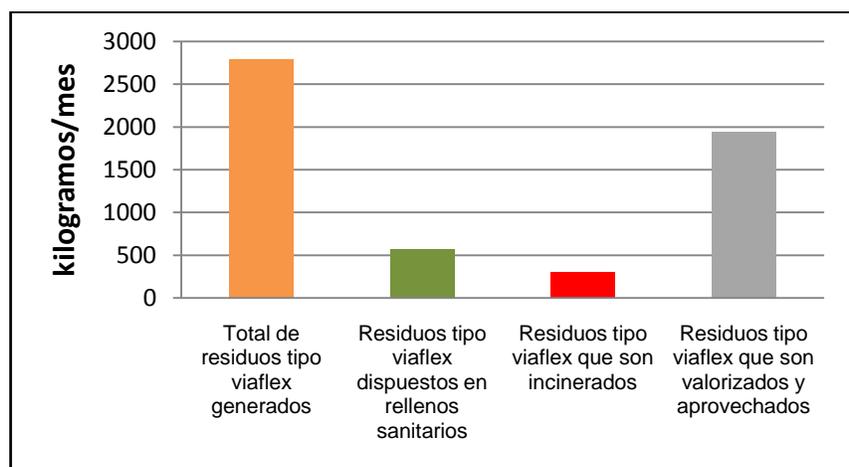
venoclisis, que tienen posibilidad de ser valorizados y aprovechados. Esta cantidad corresponde al 9% del total de residuos incinerados por las IPS.



Gráfica 4. Cantidad de residuos incinerados

#### 9.1.4 Gestión de residuos de bolsa tipo viaflex

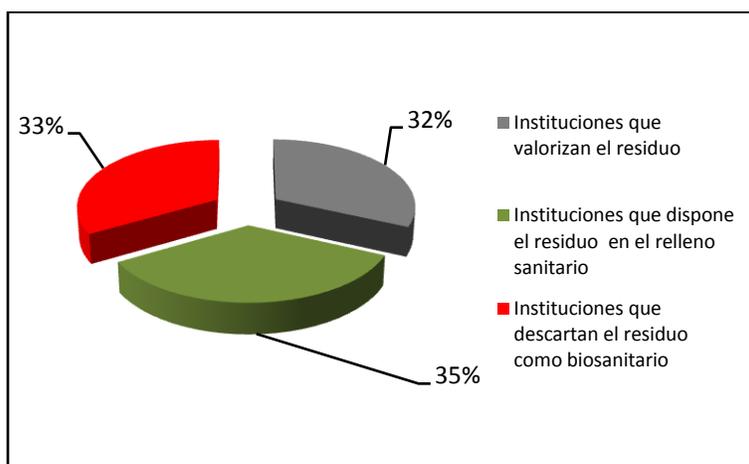
De acuerdo a la gráfica 5, actualmente, el 18% de los residuos de tipo viaflex generados por las IPS censadas, equivalentes a 573,99 kg/mes, son dispuestos en rellenos sanitarios; el 11%, equivalentes a 306,091 kg/mes son enviados a incineración y el 71% restante es valorizado y aprovechado, debido a que son entregados a establecimientos que se dedican a su comercialización y/o transformación, como es el caso de C.I PLASTIGOMA S.A.



Gráfica 5. Tipo de gestión de la bolsa tipo viaflex

Generalmente, los casos en que los residuos que son dispuestos en rellenos sanitarios o que son enviados a incineración, se presentan en las IPS que están ubicadas fuera de la ciudad de Manizales, situación que devela una gestión inapropiada al interior de estas instituciones.

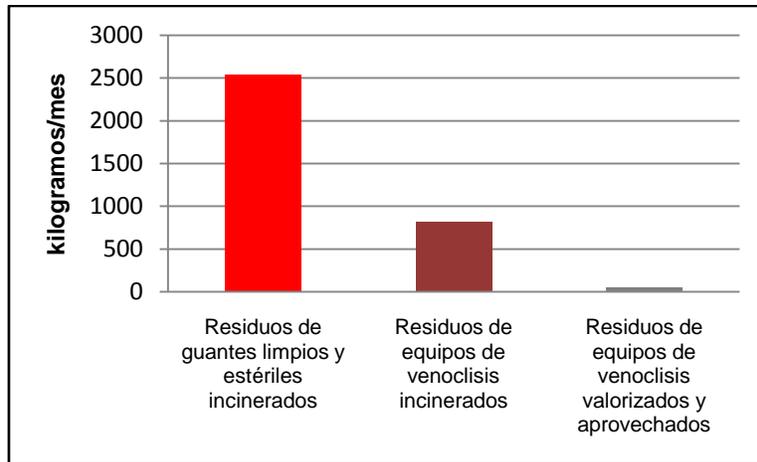
La gráfica 6 indica que el 35% de las IPS censadas dispone los residuos de bolsa tipo viaflex en rellenos sanitarios, el 33% los envía a incineración y el 32% restante los valoriza.



Gráfica 6. Tipo de gestión de los residuos de bolsas tipo viaflex por institución

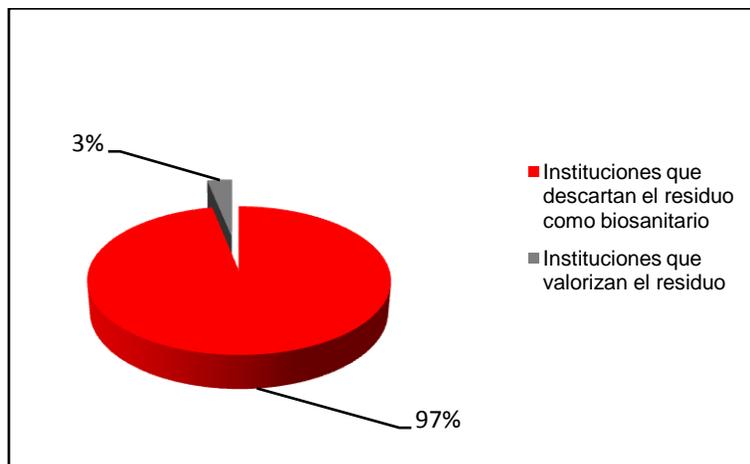
### 9.1.5 Gestión de residuos de equipos de venoclisis, guantes limpios y estériles

En la gráfica 7 se observa que la totalidad de los guantes limpios y estériles se envían a incineración, cantidad que corresponde a 2.544,263 kg/mes, es decir, el 100% de las IPS censadas optan por este tipo de gestión. A su vez, el 94% de los residuos de equipos de venoclisis se incineran, cantidad que equivale a 819,762 kg/mes y el 6% restante se este tipo de residuo es valorizado, lo que equivale a 50,876 kg/mes.



Gráfica 7. Tipo de gestión de residuos de equipos de venoclisis, guantes limpios y estériles

La gráfica 8 revela que el 97% de las instituciones censadas envían a incinerar los de equipos de venoclisis y el 3% restante valoriza estos residuos.



Gráfica 8. Tipo de gestión de los residuos de equipos de venoclisis por institución

## 9.2 Evaluación de la inactivación mediante autoclave de calor húmedo en C.I PLASTIGOMA.S.A

### 9.2.1 Diseño experimental aplicado en las pruebas de inactivación

La eliminación de la variación ajena al experimento se puede lograr mediante una asignación apropiada de tratamientos a las unidades experimentales, mediante el diseño en bloques aleatorizado (Mendenhall & Sincich, 1997). Se plantea cuando se requiere diseñar el experimento de modo que sea posible controlar la

variabilidad generada por un factor indeseable (Walpole *et al*, 1998). Lo que se busca es comparar tratamientos entre bloques de unidades experimentales relativamente homogéneas (Mendenhall & Sincich, 1997). El diseño aleatorizado por bloques es una extensión de la prueba *t* pareada para situaciones donde el factor de interés tiene más de dos niveles; esto es, cuando es necesario comparar más de dos tratamientos. El diseño tiene este nombre porque cada bloque es lo bastante grande como para contener todos los tratamientos y porque la asignación real de cada tratamiento dentro de cada bloque se hace al azar (Montgomery & Runger, 1997).

Para este diseño experimental se utilizaron las temperaturas: 105, 115 y 140°C para los tiempos 10, 15 y 20 minutos. El diseño en bloques aleatorizado se denota de la siguiente manera:

$$y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

$y_{ij}$ : Es la variable respuesta asociada al *i*-ésimo tratamiento y al *j*-ésimo bloque.

$\mu$  : Efecto promedio para todo el experimento.

$T_i$ : Efecto del *i*-ésimo tratamiento.

$B_j$ : Efecto del *j*-ésimo bloque.

$\epsilon_{ij}$ : Error experimental o término de perturbación asociado al *i*-ésimo tratamiento y al *j*-ésimo bloque.

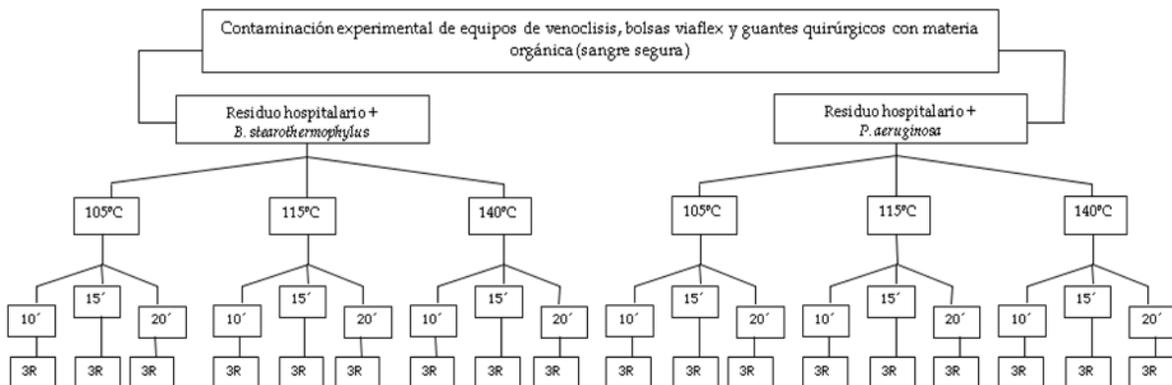


Figura 2. Diseño experimental aplicado en las pruebas de inactivación.

### **9.2.2 Método de filtración por membrana y los medios de cultivo empleados.**

Los métodos de filtración y los medios de cultivo empleados por el laboratorio de microbiología de la Universidad Católica, INGECAL, para el desarrollo de las pruebas de inactivación con autoclave de calor húmedo en C.I PLASTIGOMA S.A. fueron los siguientes:

- Filtración por membrana (MF): Es una metodología que ofrece una alternativa bastante rápida y viable, sobre todo en casos de emergencia. El método MF se basa en hacer pasar la muestra de agua problema a través de un filtro de membrana microporosa, en cuya superficie quedan retenidos los microorganismos. (ACODCL, 1993). Habitualmente se utilizan membranas de poro de 0,45  $\mu\text{m}$  (micras), ya que la mayoría de los microorganismos a analizar tienen un diámetro superior a 0,45  $\mu\text{m}$ . Bastará incubar la membrana sobre un medio de cultivo adecuado, a la temperatura y durante el tiempo necesario para posteriormente contar directamente las colonias sobre la superficie de la membrana (Millipore, 1996).
- Caldo BHI: Es utilizado para el enriquecimiento previo no selectivo de bacterias, especialmente de enterobacterias patógenas a partir de alimentos y otros materiales. Un enriquecimiento previo de este caldo conduce a mayores cuotas de crecimiento de los microorganismos. El caldo rico en sustancias nutritivas provoca una alta cuota de supervivencia de bacterias dañadas subletalmente y un crecimiento intenso. El tampón de fosfato evita una variación del pH, que es perjudicial para las bacterias.
- Caldo Lethen: El contenido relativamente alto en peptona de caseína, ofrece también las mejores condiciones de regeneración para microorganismos dañados, así como óptimas posibilidades de germinación de esporas. La lecitina y el polisorbato 20 son capaces de inactivar numerosas sustancias antimicrobianas. Así la soja-lecitina inactiva al

cetrimide, clorhexidina, fenoles clorados, desqualinium, acetato y polimixina B. El polisorbato 20 según Evans inactiva a fenoles, derivados fenólicos y ácido p-hidroxibenzoico y sus esteres. La combinación de ambos pueden inactivar a compuestos de amonio cuaternario y a combinaciones de fosfonio. Se ha renunciado a la adición de tioglicolato (como inactivador de conservantes que contengan metales pesados), pues se considera comprobado que por una parte, inactiva notablemente a los ácidos tioamínicos de la peptona de caseína y por otra parte según Gibbs el tioglicolato ejerce un efecto inhibitor sobre las esporas de muchas especies de *Bacillus* y *Clostridium*, especialmente cuando han sido dañadas por calentamiento.

- Agar Plate Count: Medio de cultivo exento de sustancias inhibitoras y de indicadores, concebido esencialmente para la determinación del número total de gérmenes en leche, productos lácteos, aguas y otros alimentos. Este es un medio para la detección y enumeración de mesófilos en alimentos y otros. El *Bacillus stearothermophilus* crece con un diámetro entre 3 – 5mm y las colonias son secas y de borde irregular.
- Agar Cetrimide: El Cetrimide (cetiltrimetilamonibromuro) se utiliza para inhibir biota acompañante. Una concentración de 0.3 g/litro ejerce suficiente inhibición de los organismos acompañantes, perjudicando mínimamente el crecimiento de *P. aeruginosa*, creciendo sin obstáculo en este medio de cultivo. El pigmento piocianina, producido por *P. aeruginosa* no se inhibe con el crecimiento en este medio. Las colonias características de *P. aeruginosa* tendrán un pigmento amarillo verdoso con fluorescencia bajo luz ultravioleta de onda corta.

### 9.2.3 Procedimiento de inoculación de las bacterias

La inoculación o adición de las cepas ATCC 27853 de pseudomona aeruginosa y ATCC 12980 de bacillus stearothermophilus se realizó en caldo BHI, en una

suspensión de  $10^9$  microorganismos/ml, como se muestra en la siguientes imágenes:



Imagen 1. Inoculación de bacterias



Imagen 2. Bacterias inoculadas de *P. aeruginosa* y de *B. sterothermophilus*

#### 9.2.4 Procedimiento de contaminación de los tratamientos con materia orgánica

Para la prueba de inactivación se dispuso de 54 tratamientos (material estéril), conformados por 18 bolsas tipo viaflex, 18 equipos de venoclisis y 18 guantes quirúrgicos. Inicialmente se contaminaron experimentalmente las muestras con materia orgánica (sangre segura) para garantizar el aporte energético necesario para el desarrollo y crecimiento de las bacterias.



Imagen 3. Laboratorio utilizado



Imagen 4. Preparación de la sangre para la contaminación e inoculación como sustrato



**Imagen 5. Contaminación del material**



**Imagen 6. Material contaminado**

El material contaminado se puso en contacto con las bacterias inoculadas en el caldo BHI:



**Imagen 7. Tratamiento de guantes quirúrgicos**



**Imagen 8. Tratamiento equipos de venoclisis**

Finalmente, los microorganismos se dejaron en incubación durante 24 horas para que el microorganismo se fijara al sustrato, en donde al cabo de este periodo se hizo un recuento inicial de bacterias que correspondió a  $1.2 \cdot 10^6$  UFC/100ml de *P. aeruginosa* y de  $5.1 \cdot 10^5$  UFC/100ml de *B. stearothermophilus*.



Imagen 9 Tratamientos listos para incubación

### **9.2.5 Inactivación de los tratamientos en C.I PLASTIGOMA S.A.**

Para evaluar el proceso la inactivación con calor húmedo, la empresa dispuso de una autoclave industrial de desplazamiento por gravedad, cuya cámara cuenta con aspas giratorias para favorecer el contacto del vapor con el material cargado. Este equipo tiene una capacidad para tratar 100 kg de residuos aproximadamente por ciclo y puede operar a una temperatura máxima de 160°C y 80 psi.



Imagen 10. Autoclave de calor húmedo C.I PLASTIGOMA S.A.

Debido a la ausencia de dispositivos de control en la caldera y en la autoclave para el suministro de vapor, la regulación en la temperatura y presión debió realizarse de manera manual; por consiguiente, los parámetros utilizados en la evaluación fueron las siguientes:

**Tabla 7. Condiciones de operación autoclave C.I PLASTIGOMA S.A.**

| Temperatura | Presión psig |
|-------------|--------------|
| 150°C       | 68           |
| 140°C       | 55           |
| 115°C       | 10           |
| 105°C       | 3            |

Se establecieron tiempos de 10, 15 y 20 minutos, para cada una de los parámetros de tiempo y presión.

Para el desarrollo de las pruebas, se cargó la autoclave con 2/3 del volumen total y los tratamientos fueron ubicados en el centro de la carga, sujetos desde el eje que permite el movimiento de las aspas, con el fin de establecer condiciones reales de tratamiento, en las cuales el contacto con el vapor debe ser homogéneo dentro de todo el contenido.



**Imagen 11. Carga del autoclave para prueba de inactivación**

Durante el desarrollo de las pruebas se descartó el parámetro de temperatura de 150°C, puesto que el material sufrió cambios en sus características que dificulta el procesamiento posterior dentro de la empresa, por lo cual, los ensayos se realizaron para las temperaturas de 140, 115 y 105°C.



**Imagen 12. Características del material inactivado a 150°C**

Al culminar los ensayos de inactivación, el material fue trasladado nuevamente al laboratorio de microbiología donde se efectuaron los procesos de dilución en caldo letheen del material inactivado para cada unidad de muestra, se realizó la retención de microorganismos mediante el método de filtración por membrana (ACODCL, 1993) (Millipore, 1996) y se incubaron los tratamientos correspondientes a *P. aeruginos* y *B. stearothermophilus* a 35 y 55°C respectivamente, durante 48 horas (Madigan *et al.*, 2004).



**Imagen 13. Caldo letheen para cada uno de los tratamientos**



**Imagen 14. Dilución del material en caldo letheen**



Imagen 15. Cajas de petri para el desarrollo de microorganismos

Finalmente, se realizó el recuento de *B. stearotherophilus* (colonias grandes, rugosas del color del medio) en agar Plate Count y *P. aeruginosa* (colonias amarillo-verdosas fluorescentes) en agar Cetrimide (ACODCL, 1993) (Millipore, 1996).



Imagen 16. Cero crecimientos de *B. stearotherophilus*



Imagen 17. Crecimiento de *B. stearotherophilus*

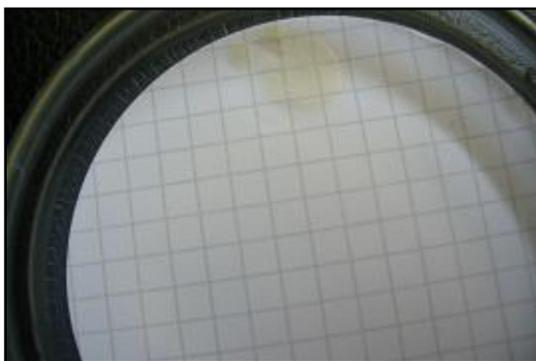


Imagen 18. Cero crecimientos de *P. aeruginosa*



Imagen 19. Crecimiento de *P. aeruginosa*

## 9.2.6 Resultados de la prueba de inactivación

Los resultados obtenidos en los diferentes tratamientos de inactivación de los materiales contaminados con *P. aeruginosa* y *B. stearothermophilus* son los siguientes:

**Tabla 8. Recuento de bacterias de *P. aeruginosa***

| 3              | T (factor controlado) | Bloques (tiempos) |                |                |
|----------------|-----------------------|-------------------|----------------|----------------|
|                |                       | 10 minutos        | 15 minutos     | 20 minutos     |
| E. Venoclisis  | 105°C                 | >300 UFC/100ml    | >300 UFC/100ml | >300 UFC/100ml |
|                | 115°C                 | 215 UFC/100ml     | 0 UFC/100ml    | 0 UFC/100ml    |
|                | 140°C                 | 0 UFC/100ml       | 0 UFC/100ml    | 0 UFC/100ml    |
| Bolsas viaflex | 105°C                 | >300 UFC/100ml    | >300 UFC/100ml | 134 UFC/100ml  |
|                | 115°C                 | 186 UFC/100ml     | 0 UFC/100ml    | 0 UFC/100ml    |
|                | 140°C                 | 0 UFC/100ml       | 0 UFC/100ml    | 0 UFC/100ml    |
| Guantes        | 105°C                 | >300 UFC/100ml    | >300 UFC/100ml | 107 UFC/100ml  |
|                | 115°C                 | 190 UFC/100ml     | 0 UFC/100ml    | 0 UFC/100ml    |
|                | 140°C                 | 0 UFC/100ml       | 0 UFC/100ml    | 0 UFC/100ml    |

\* Los recuentos >300 UFC corresponden a cajas con incontables UFC / 100ml.

**Tabla 9. Recuento de bacterias de *B. stearothermophilus***

| Residuo Hospitalario | T (factor controlado) | Bloques (tiempos) |                |                |
|----------------------|-----------------------|-------------------|----------------|----------------|
|                      |                       | 10 minutos        | 15 minutos     | 20 minutos     |
| E. Venoclisis        | 105°C                 | >300 UFC/100ml    | >300 UFC/100ml | >300 UFC/100ml |
|                      | 115°C                 | >300 UFC/100ml    | >300 UFC/100ml | 171 UFC/100ml  |
|                      | 140°C                 | 0 UFC/100ml       | 0 UFC/100ml    | 0 UFC/100ml    |
| Bolsas viaflex       | 105°C                 | >300 UFC/100ml    | >300 UFC/100ml | >300 UFC/100ml |
|                      | 115°C                 | >300 UFC/100ml    | >300 UFC/100ml | 140 UFC/100ml  |
|                      | 140°C                 | 0 UFC/100ml       | 0 UFC/100ml    | 0 UFC/100ml    |
| Guantes              | 105°C                 | >300 UFC/100ml    | >300 UFC/100ml | >300 UFC/100ml |
|                      | 115°C                 | >300 UFC/100ml    | >300 UFC/100ml | 163 UFC/100ml  |
|                      | 140°C                 | 0 UFC/100ml       | 0 UFC/100ml    | 0 UFC/100ml    |

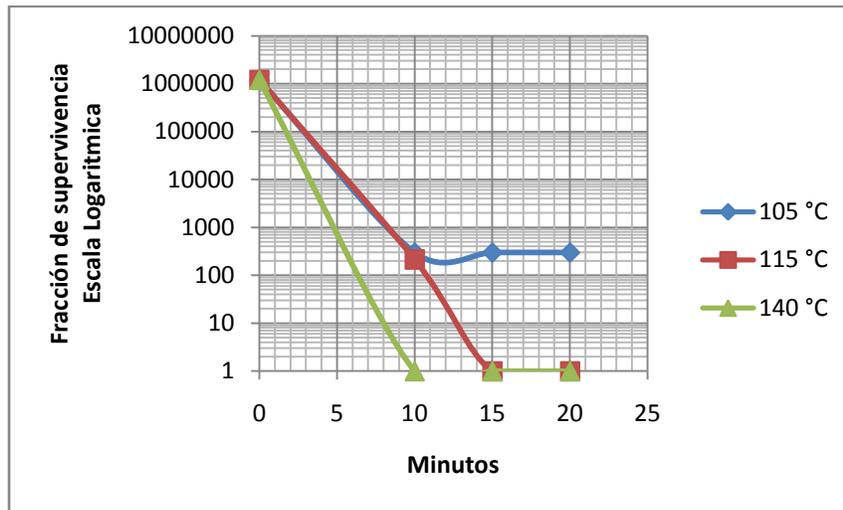
\* Los recuentos >300 UFC corresponden a cajas con incontables UFC / 100ml.

Las tablas 8 y 9 muestran los recuentos obtenidos para cada uno de los tratamientos luego de su inactivación por medio de calor húmedo, en donde se observa una reducción significativa al aumentar los tiempos y temperaturas del proceso. La temperatura de 105°C fue ineficiente a los tiempos utilizados con

miras a la destrucción de cada microorganismo, no obstante, la *P. aeruginosa* fue completamente inactivada a partir de 115°C durante un tiempo mínimo de 15 minutos. Por otra parte, el *B. stearothermophilus* solo pudo ser inactivado de cada uno de los materiales a partir de 140°C durante un tiempo mínimo de 10 minutos, aspecto consecuente con su condición de microorganismo termorresistente.

### 9.2.6.1 Resultados de inactivación de *P. aeruginosa* por tipo de material o residuo tratado

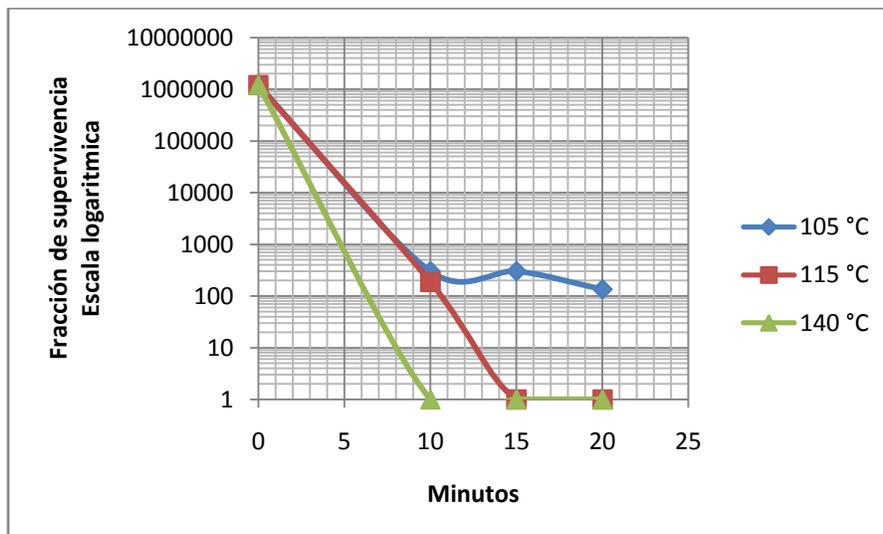
En la gráfica 9 se observa que para la inactivación de la *P. aeruginosa* en los equipos de venocliposis, la temperatura de 105°C es insuficiente, puesto que se mantiene una fracción de supervivencia equivalente a 300 UFC/100 ml para los tres tiempos de tratamiento. Del mismo modo, para una temperatura de 115°C, un tiempo de 10 minutos permite la supervivencia de 275 UFC/100 ml, no obstante, para los tiempos de 15 y 20 minutos, este microorganismo es totalmente inactivado. En lo que corresponde a 140°C, la mortalidad alcanzada fue de un 100% para los tres periodos de tiempo.



Gráfica 9. Tasa de mortalidad de la *P. aeruginosa* en el tratamiento de equipos de venocliposis con calor húmedo

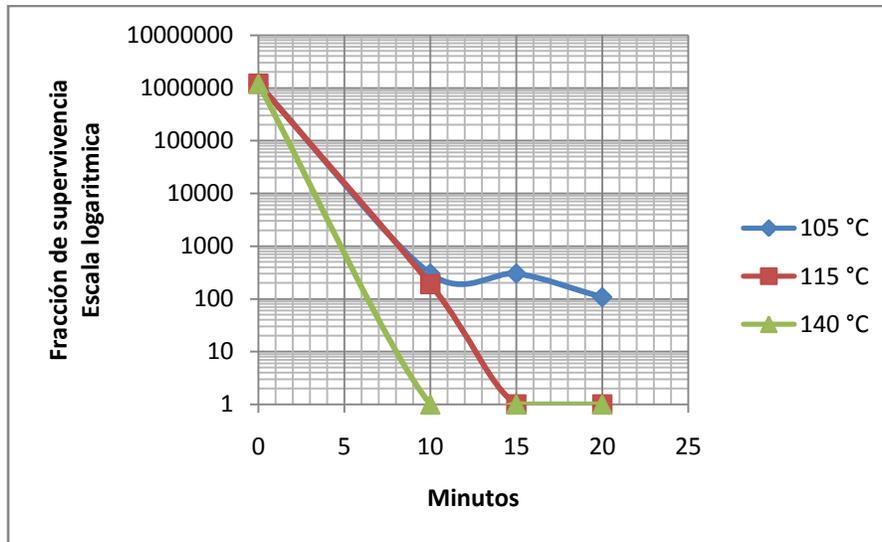
De la misma manera, la gráfica 10 indica que para la inactivación de la *P. aeruginosa* en las bolsas tipo viaflex a la temperatura de 105°C, sobreviven

aproximadamente 300 UFC/100ml para los tiempos de 10 y 15 minutos y 134 UFC/100ml para un tiempo de 20 minutos. En cuanto a la temperatura de 115°C, la sobrevivencia estuvo alrededor de 186 UFC/100ml para 10 minutos de tratamiento y de 0 UFC/100ml para los tiempos de 15 y 20 minutos respectivamente. Para 140°C el tratamiento fue exitoso en los tres periodos de tiempo, en donde el porcentaje de supervivencia fue del 0%.



**Grafica 10. Tasa de mortalidad de la *P. aeruginosa* en el tratamiento de bolsas tipo viaflex con calor húmedo**

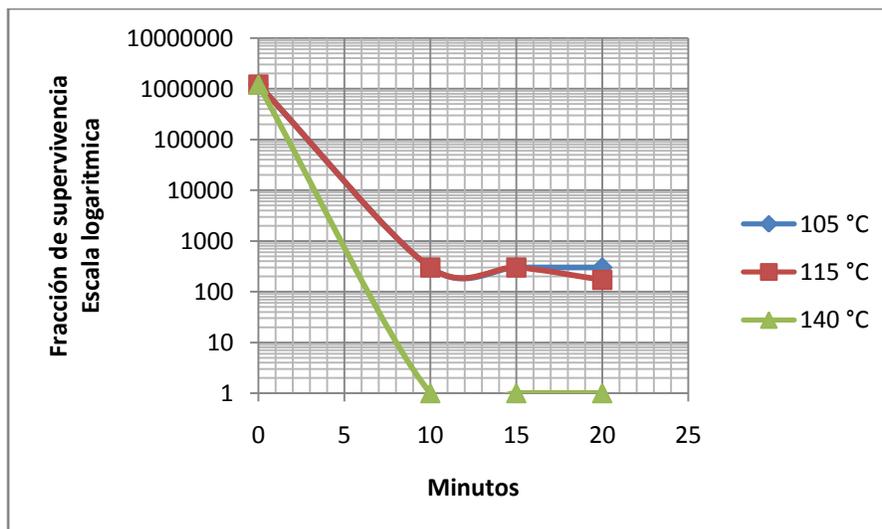
Finalmente, en lo que tiene que ver con la inactivación de la *P. aeruginosa*, el tratamiento de los guantes quirúrgicos con calor húmedo en C.I. PLASTIGOMA S.A., mantuvo el mismo comportamiento que el de los demás materiales o residuos, puesto que para 105°C, persistió una fracción de supervivencia de 300 UFC/100ml en los periodos 10 y 15 minutos y de 107 UFC/100ml en 20 minutos. Para una temperatura de 115°C, sobrevivieron 190 UFC/100ml en 10 minutos y 0 UFC/100ml en 15 y 20 minutos. A 140°C, la mortalidad fue del 100% para los tres periodos de tiempo.



Grafica 11. Tasa de mortalidad de la *P. aeruginosa* en el tratamiento de guantes quirúrgicos con calor húmedo

### 9.2.6.2 Resultados de inactivación de *B. stearothermophilus* por tipo de material o residuo tratado

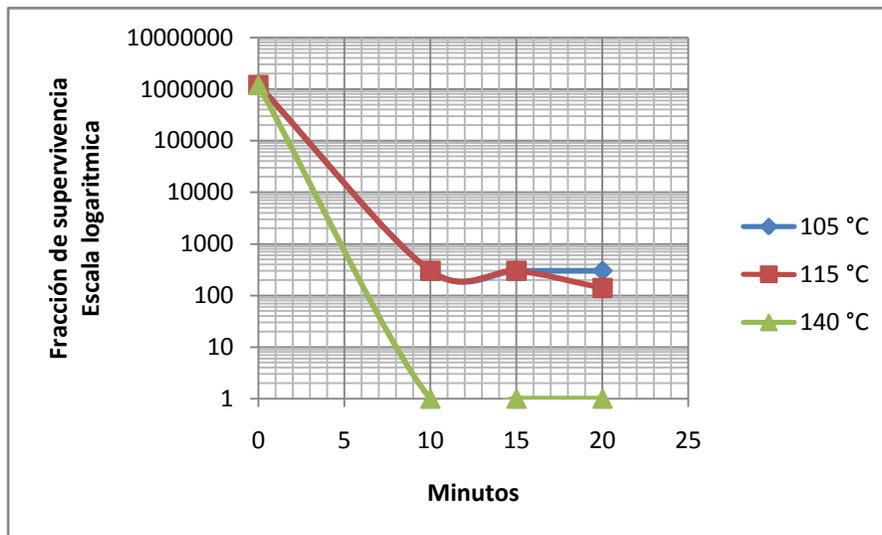
La gráfica 12 indica que el tratamiento de los equipos de venoclisis para la inactivación de la *B. stearothermophilus* fue ineficiente a 105 y 115°C en los tres periodos de tiempo utilizados, puesto que hubo una supervivencia comprendida entre 300 y 171 UFC/100ml aproximadamente. Caso contrario ocurrió a 140°C, en donde la mortalidad de este microorganismo fue del 100%.



Grafica 12. Tasa de mortalidad del *B. stearothermophilus*

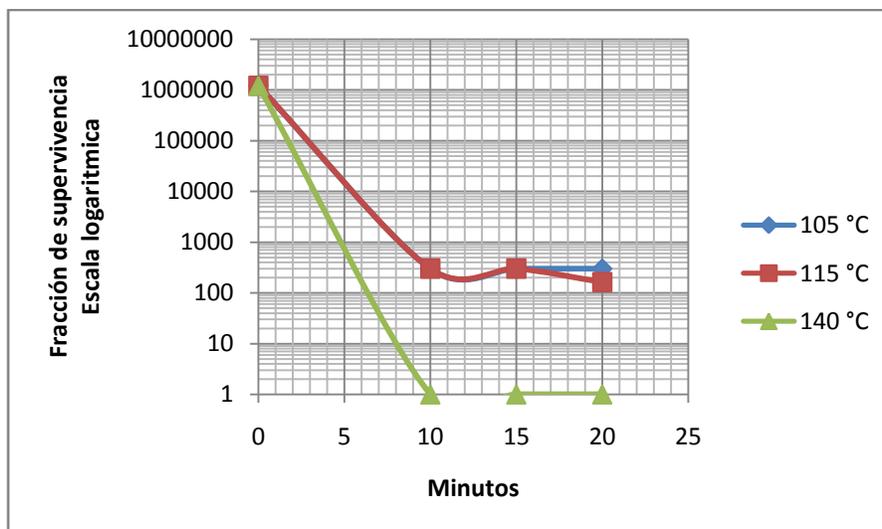
en el tratamiento de equipos de venoclisis con calor húmedo

En lo que toca a la gráfica 13, el tratamiento con calor húmedo de las bolsas tipo viaflex no logró los objetivos de esterilidad a las temperaturas de 105 y 115°C en los tres periodos de tiempo utilizados, puesto que el *B. stearothermophilus* sobrevivió en un rango comprendido entre 300 y 140 UFC/100ml. Sin embargo, la mortalidad de esta bacteria a 140°C fue del 100% en los tiempos empleados.



Grafica 13. Tasa de mortalidad del *B. stearothermophilus* en el tratamiento de bolsas tipo viaflex con calor húmedo

Finalmente, la gráfica 14 sugiere que el tratamiento con calor húmedo de los guantes quirúrgicos tampoco logró los objetivos de esterilidad a las temperaturas de 105 y 115°C en los tres periodos de tiempo utilizados, puesto que el *B. stearothermophilus* sobrevivió en un rango comprendido entre 300 y 163 UFC/100ml. De manera similar, la mortalidad de este microorganismo a 140°C fue del 100% en los tiempos empleados



**Grafica 14. Tasa de mortalidad del *B. stearothermophilus* en el tratamiento de guantes quirúrgicos con calor húmedo**

De acuerdo al análisis anterior, los resultados de los ensayos realizados demuestran que la autoclave de propiedad de C.I. PASTIGOMA S.A. es 100 por ciento eficaz para la inactivación de los residuos objeto de estudio a 140°C durante un periodo de 10 minutos, sobre la base de una tasa de mortalidad del 100% a un indicador biológico como el *Bacillus stearothermophilus*, cuya resistencia al calor es considerablemente mayor que la de los organismos patógenos.

Las condiciones obtenidas en las pruebas concluye que es posible la manipulación y el aprovechamiento de los residuos objeto de estudio, después de su inactivación con calor húmedo, puesto que no existen riesgos para la salud de los empleados que se dedican a su transformación, ni para el consumidor final de los productos obtenidos, debido al nivel de esterilidad alcanzado.

### **9.3 Procesos de reciclaje existentes en C.I PLASTIGOMA.S.A.**

La empresa C.I PLASTIGOMA S.A. cuenta con tres secciones en donde se llevan a cabo los procesos de reciclaje de PVC y caucho, las cuales se describen a continuación:

### 9.3.1 Inyección

El proceso de inyección está conformado por las siguientes etapas:

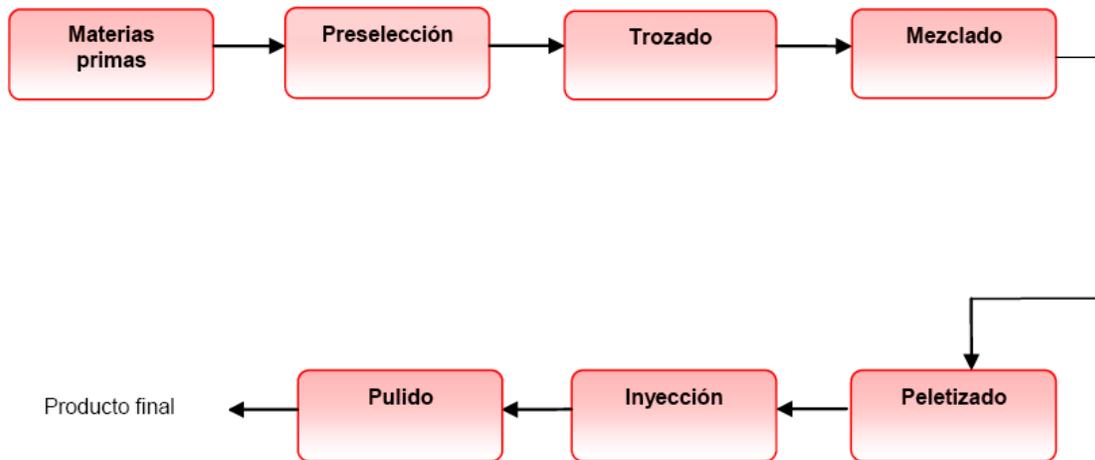


Diagrama 3. Inyección

La primera etapa del proceso de inyección consiste en la recepción del material de PVC, constituido por bolsas tipo viaflex, el cual proviene de diferentes instituciones prestadoras de salud con presencia en la ciudad de Manizales, norte del Valle y departamento de Quindío, para ser utilizado en la fabricación de motopartes y fabricaciones especiales que utilizan tanto materiales vírgenes como reciclados sin perder las especificaciones técnicas del producto. El material es revisado antes de ingresar al ciclo de producción para detectar si se encuentra contaminado con algún fluido o material diferente al residuo de interés y de ser así es devuelto inmediatamente a las instalaciones del generador para que procedan a darle otro tipo gestión.



Imagen 20. Revisión bolsa tipo viaflex



Imagen 21. Pesaje bolsa tipo viaflex

Por otro lado, si el material se encuentra en las condiciones requeridas, se procede a cuantificarse (imagen 21) y se envía a la zona de almacenamiento temporal a la espera de ser procesado como se observa en las imágenes 22 y 23.



**Imagen 22. Almacenamiento temporal 1 de bolsa tipo viaflex**



**Imagen 23. Almacenamiento temporal 2 de bolsa tipo viaflex**

La segunda etapa se denomina Preselección o Despitonización y es donde se retiran y rechazan las partes rígidas (pitones) que es donde se conectan los equipos de venoclisis, puesto que no cumplen con las especificaciones para la fabricación de los productos finales.



**Imagen 24. Pitones retirados y rechazados**

Seguidamente, el material pasa por un trozador en donde se realiza una reducción de tamaño para facilitar la mezcla con los demás aditivos y su posterior inyección.



**Imagen 25. Trozador inyección**

Después de trozado el material, se mezcla con otros insumos o productos químicos como el dióxido de titanio, plastificantes, emulsión de silicona y aceite usado, entre otros, con el fin de garantizar las propiedades mecánicas, según los requerimientos de la pieza a fabricar.



**Imagen 26. Mezclador**



**Imagen 27. Aspas rotatorias del mezclador**



**Imagen 28. Insumos utilizados en mezclas**

Al obtenerse la mezcla con las características deseadas, el proceso continúa en la etapa de Peletizado, que consiste en una operación de moldeo termoplástico en el que partículas finamente divididas de una ración se integran en un pelet compacto y de fácil manejo, el cual incluye condiciones específicas de humedad, temperatura y presión.

Al finalizar el Peletizado, el proceso continúa con la etapa de Inyección, en donde la conversión se lleva a cabo al plastificar el polímero termoplástico (mediante el suministro de energía y el trabajo mecánico aportado por el husillo<sup>34</sup>) e inyectarlo y hacerlo fluir por medio de alta presión dentro de la cavidad de un molde, donde nuevamente el polímero es llevado al estado sólido (mediante el retiro de energía a través del intercambio con un refrigerante) tomando la forma de la cavidad en que se solidificó.



**Imagen 29. Inyectora**

Con las piezas listas después del proceso de inyección, se procede a pulir y empaquetar el producto para ser comercializado.

---

<sup>34</sup> El husillo de extrusión es básicamente un tornillo de Arquímedes fijado por un extremo a un motor que lo hace girar a una velocidad angular previamente decidida en los procesos de Moldeo por inyección y extrusión.



Imagen 30. Motopartes como producto final

### 9.3.2 Regenerado

El proceso de regenerado de caucho (RECCOL) está conformado por las siguientes etapas:

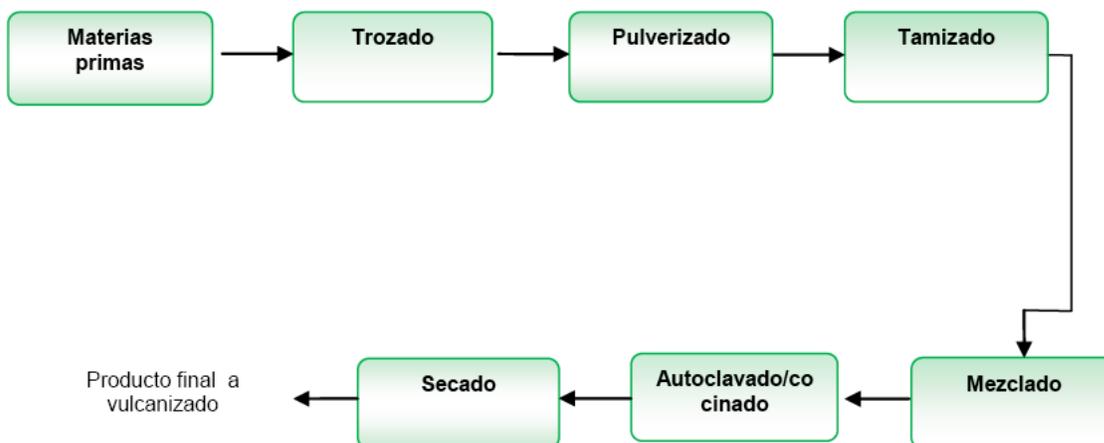


Diagrama 4. Regenerado de caucho

La primera fase del proceso de regenerado consiste en la recepción de materiales como ripio de caucho, recortes de banda y excedentes industriales de látex, los cuales son almacenados de forma temporal mientras se ingresan al proceso. Esta materia prima se utiliza para la producción de polvo de caucho, caucho regenerado Master y tapetes de caucho.



**Imagen 31. Almacenamiento de excedentes industriales de látex**



**Imagen 32. Almacenamiento de rebaba**

Los recortes de banda (rebaba) son enviados a un trozador para una reducción inicial de tamaño antes de pasar al área de pulverización. Al culminar el trozado, todo el material es limpiado en una zaranda con imanes que se encargan de extraer cualquier partícula metálica u otros elementos contaminantes.



**Imagen 33. Trozador regenerado**

Una vez depurada la rebaba trozada, se arroja (junto a los excedentes industriales de látex y el ripio de caucho) a molinos pulverizadores por fricción, que se encargan de moler el caucho en variadas granulometrías. A continuación, el producto que sale del molino se incorpora a una zaranda que determina el tamaño de partícula requerido por el cliente o por las especificaciones exigidas para el

producto a procesar. El polvo de caucho obtenido se envía al silo de almacenamiento temporal.



**Imagen 34. Pulverizador**



**Imagen 35. Silo de almacenamiento temporal**

Hasta este punto, el material de polvo de caucho procesado puede ser empacado para ser distribuido o comercializado o puede ingresarse como materia prima para continuar con el proceso de caucho regenerado.



**Imagen 36. Polvo de caucho**

El proceso de regeneración de caucho prosigue con la mezcla de los diferentes componentes a una temperatura de 160°C, entre los que se encuentra el polvo de caucho, el negro de humo y el aceite usado, para otorgar las características y propiedades exigidas para el regenerado.



**Imagen 37. Almacenamiento de aceite usado**



**Imagen 38. Mezclador área de regenerado**

El producto de la mezcla es descargada a una autoclave que posee una capacidad de 700 a 800 Kg. por lote, en donde a través de vapor saturado suministrado por una caldera de 100 BHP, se realiza la regeneración de caucho a un rango de temperatura comprendido entre 150°C y 160°C.



**Imagen 39. Autoclave para regenerado**



**Imagen 40. Caldera para suministro de vapor**

Finalmente, el caucho regenerado es enviado a un ciclo de secado, donde se obtiene el producto con un 2% de humedad, el cual se descarga y se envía a la zona de almacenamiento, en donde es empacado con fines de comercialización o se envía a la sección de vulcanizado para la fabricación de otros productos.



Imagen 41. Unidad de secado



Imagen 42. Caucho regenerado

### 9.3.3 Vulcanizado

El proceso de inyección está conformado por las siguientes etapas:

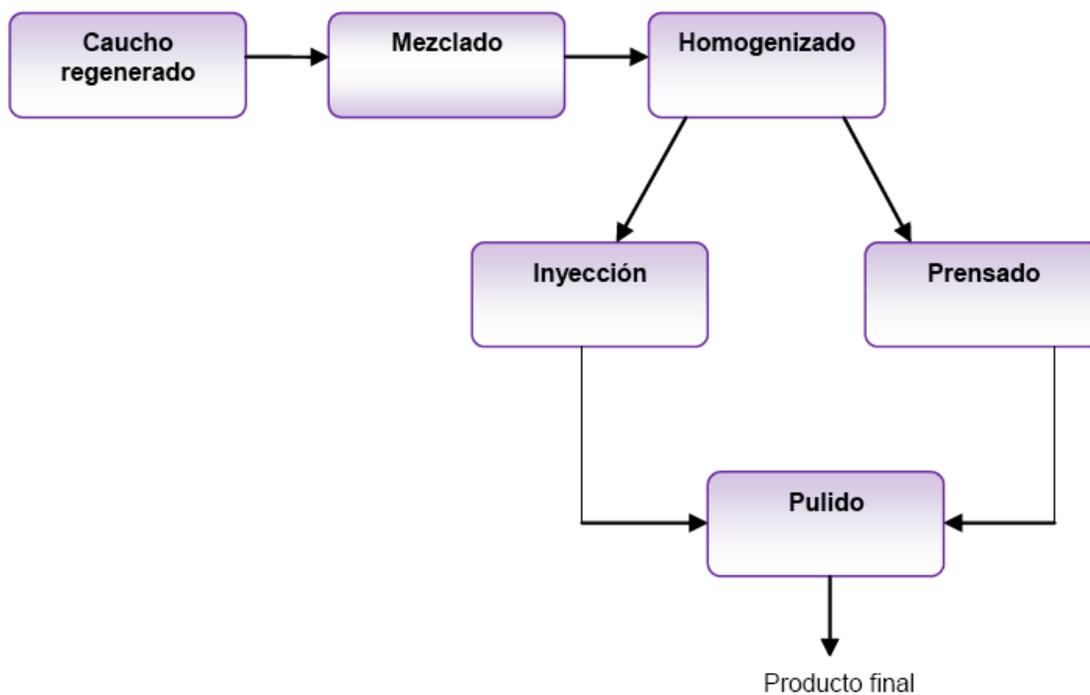


Diagrama 5. Vulcanizado

La vulcanización es un proceso mediante el cual se calienta el caucho crudo en presencia de azufre, con el fin de volverlo más duro y resistente al frío. Muchos productos se vulcanizan en moldes y se comprimen en presas hidráulicas o de

vapor, aunque la presión necesaria para una vulcanización eficaz se puede conseguir sometiendo el caucho a la presión externa o interna del vapor durante el calentamiento<sup>35</sup>.

En esta sección, la primera fase consiste en la preparación de la mezcla de los aditivos químicos de acuerdo a las especificaciones del producto a procesar, la cual es preparada en el Banbury<sup>36</sup>. En este dispositivo se adiciona aceite usado como plastificante y otros insumos para preparar la base de vulcanizado, la cual es enviada a un molino para llevar a cabo un proceso de homogenización.



**Imagen 43. Aditivos químicos para el vulcanizado**



**Imagen 44. Banbury**



**Imagen 45. Molino para homogenización**

<sup>35</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Guías Ambientales Sector Plásticos. Bogotá. 2004. p 15.

<sup>36</sup> En el malaxador Banbury se introduce la mezcla de caucho, negro de humo y otros productos químicos para obtener un material de caucho homogéneo. El tiempo, el calor y las materias primas utilizadas son los factores decisivos en la composición del producto final. Por lo general, los ingredientes llegan a la planta en paquetes ya pesados o en cantidades a granel que son preparadas y pesadas allí por el operario encargado.

La fase final en el proceso de vulcanizado consiste en pasar la mezcla homogenizada a través de sistema de prensado<sup>37</sup> y/o inyección para obtener la pieza deseada.



**Imagen 46. Prensa de vapor**



**Imagen 47. Inyectora área de vulcanizado**

Por último, el material producido se traslada a la zona de pulido para obtener el producto terminado que puede ser comercializado.



**Imagen 48. Pisos antideslizantes producidos en vulcanizado**

---

<sup>37</sup> El prensado consiste en someter el material cargado en distintos moldes para ser sometido a una presión y temperatura determinada, durante un ciclo específico, para la obtención de productos de acuerdo a las necesidades.

#### **9.4 Comparación ambiental entre el tratamiento de los residuos en C.I PLASTIGOMA S.A. vs el proceso de incineración**

La comparación ambiental se realizó con la ayuda de eco-balances para cada uno de los procesos que se realizan en C.I. PLASTIGOMA S.A. y de la incineración realizada por la empresa municipal de aseo, de tal manera que se reporten los flujos hacia el interior y exterior de recursos, materia prima, energía, productos y residuos, para así establecer el desempeño ambiental.

##### **9.4.1 Aspectos ambientales de los procesos que se realizan en C.I PLASTIGOMA S.A.**

###### **9.4.1.1 Eco-balances procesos de transformación de C.I. PLASTIGOMA S.A.**

Los ecobalances de los tres procesos de transformación (regenerado de caucho, vulcanizado e inyección) son los siguientes:

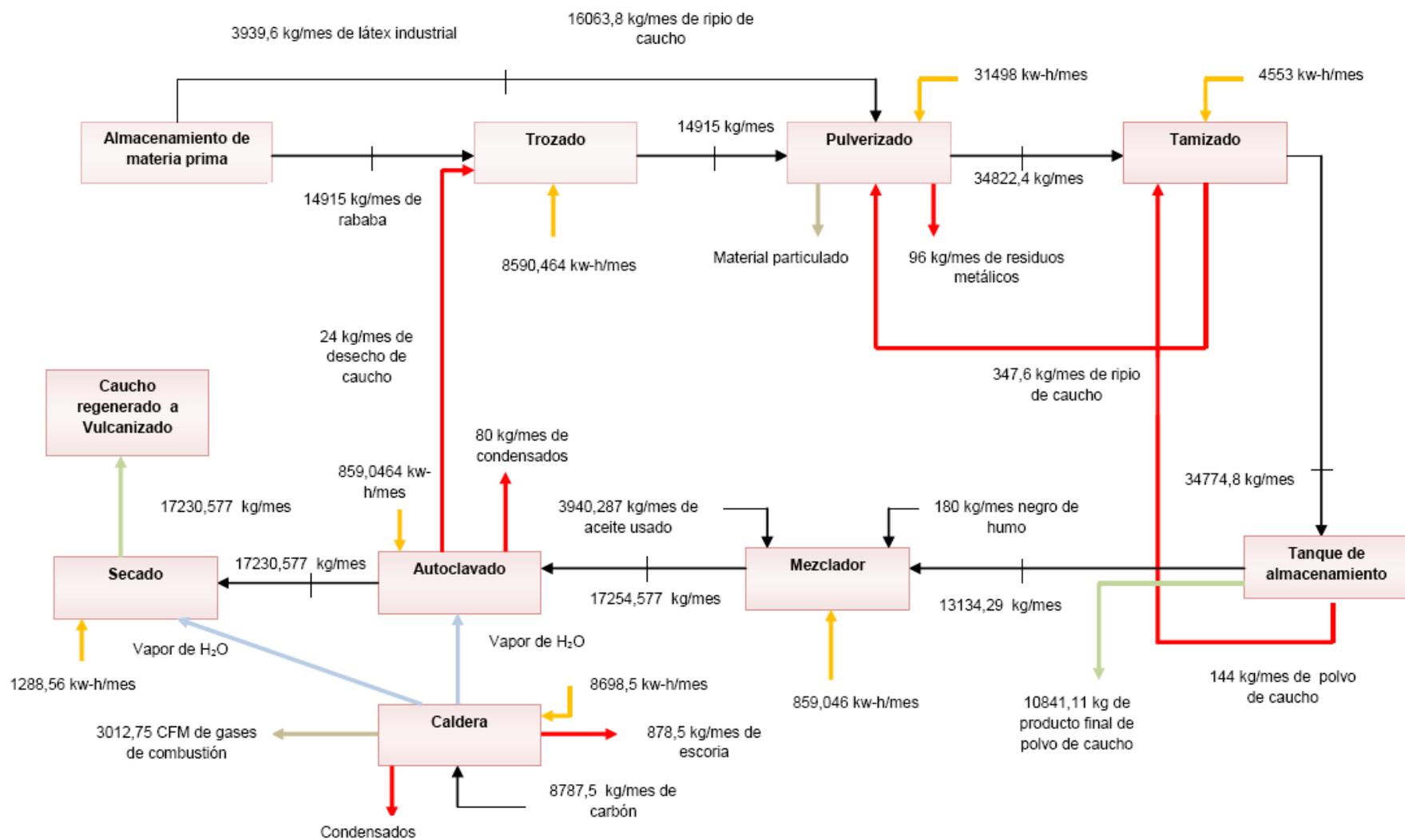


Diagrama 6. Eco-balance Regenerado de caucho (RECCOL)  
Fuente: Autor

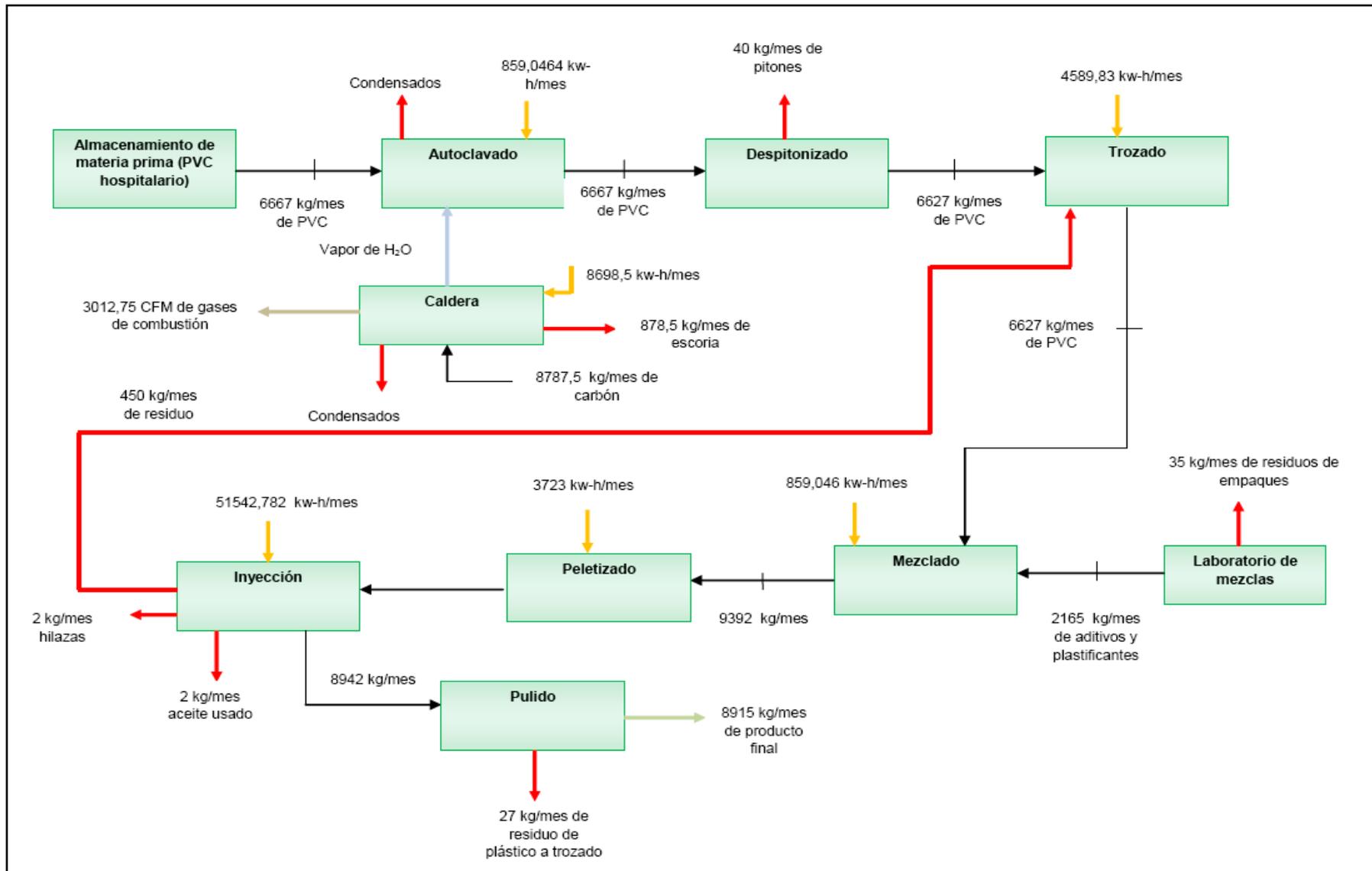


Diagrama 7. Ecobalance Inyección  
Fuente: Autor

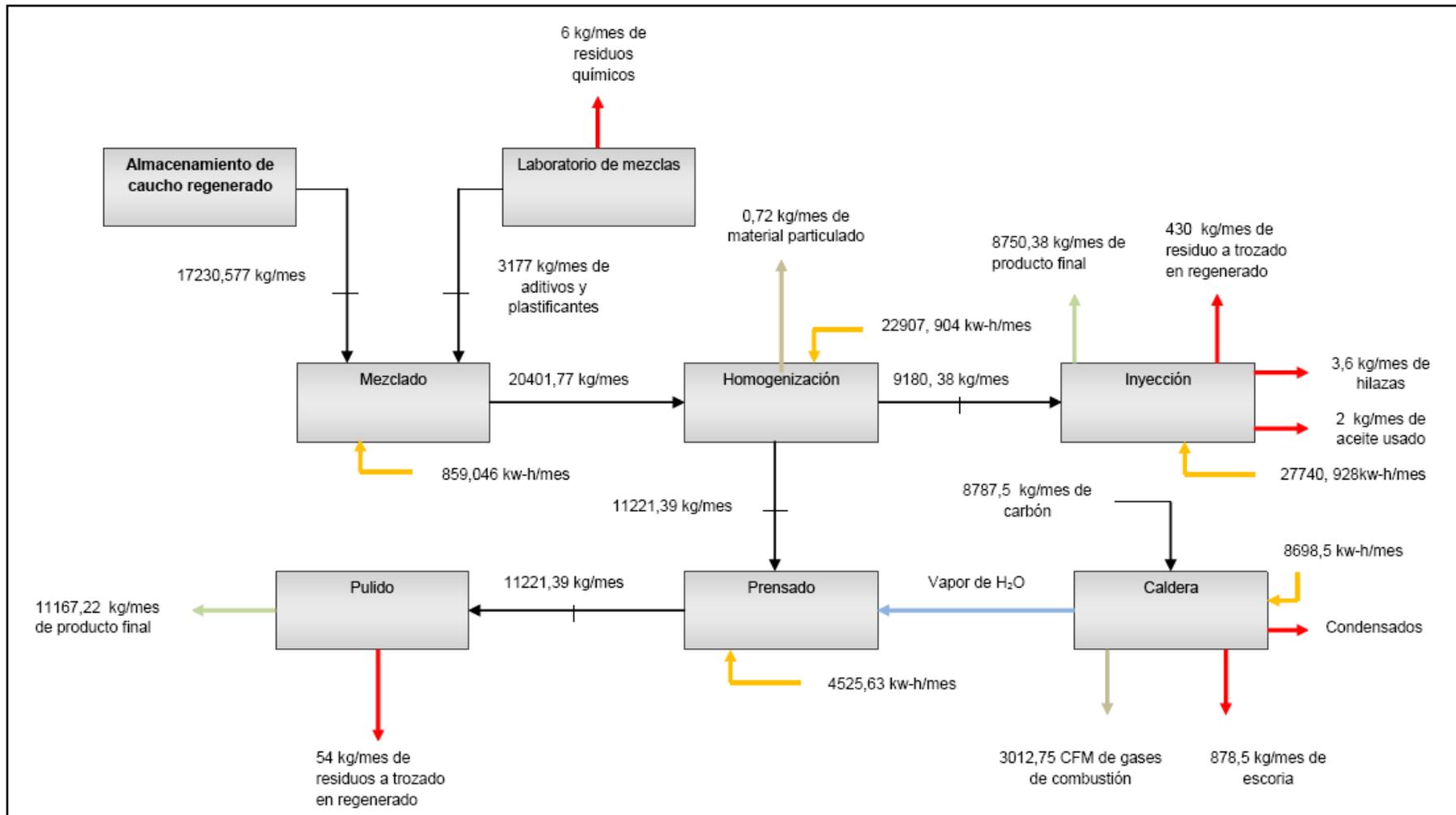


Diagrama 8. Ecobalance Vulcanizado  
Fuente: Autor

#### 9.4.1.2 Gestión de residuos sólidos en C.I. PLASTIGOMA S.A.

La Empresa C.I. PLASTIGOMA S.A. se encuentra ubicada en la zona Industrial Juanchito del municipio de Manizales, la cual es compatible con las características y uso del suelo del sector. La mayoría de los residuos sólidos generados en el proceso productivo son reincorporados al sistema y los demás residuos sólidos generados son dispuestos técnicamente, minimizando los impactos ambientales negativos que estos puedan generar.

Los siguientes son los principales residuos generados en la empresa:

**Tabla 10. Residuos sólidos generados en C.I. PLASTIGOMA S.A.**

| Residuo   | Origen                                 | Cantidad                    |
|---|--|-----------------------------|
| Material particulado de caucho                        | RECCOL                                 | No cuantificado             |
| Ripio de caucho                                       | RECCOL                                 | 347,6 Kg. / mes en promedio |
| Metal   | RECCOL, taller                         | 96 kg/mes                   |
| Polvo de caucho                                       | RECCOL                                 | 144 kg/mes                  |
| Desecho mantenimiento autoclave                       | RECCOL                                 | 24 kg./mes                  |
| Escoria   | RECCOL, inyección y vulcanizado        | 878,5 kg/mes                |
| Hilaza impregnada de aceite                           | RECCOL, inyección, vulcanizado, taller | 5.6 kg./mes                 |
| Partes rígidas de la bolsa tipo viaflex               | Inyección                              | 40 kg/mes                   |
| Empaques .materia prima (sacos polipropileno y papel) | RECCOL, inyección, vulcanizado         | 35 kg/mes                   |
| Residuo pulido  | Vulcanizado, inyección                 | 81 kg/mes                   |
| Residuo inyectoras PVC                                | Inyección                              | 450 Kg. / mes promedio      |
| Residuo inyectoras caucho                             | Vulcanizado                            | 430 Kg. / mes promedio      |
| Residuo Químico                                       | Vulcanizado                            | 6 kg./mes                   |

|   |  |   |
|---|--|---|
| Material particulado de negro de humo (NH) y otros químicos | inyección, vulcanizado                   | 0,72 kg/mes   |
| Papel -Cartón   | Zona común                               | 10 kg./mes  |
| Plástico  | Zona común                               | 6 kg./mes   |
| Residuo Ordinario   | Zona común                               | 160 kg./mes   |
| Aceite usado  | RECCOL, inyección, vulcanizado<br>Taller | 4 kg/ mes ( maquinaria)<br>30kg aceite/mes (taller) |
| Agua condensados  | RECCOL                                   | 4 kg. Por carga en el autoclave                     |
| Lámparas  | Zona común                               | 1 lámpara cada 6 meses                              |

La gestión que se realiza actualmente para cada tipo de residuos es la siguiente:

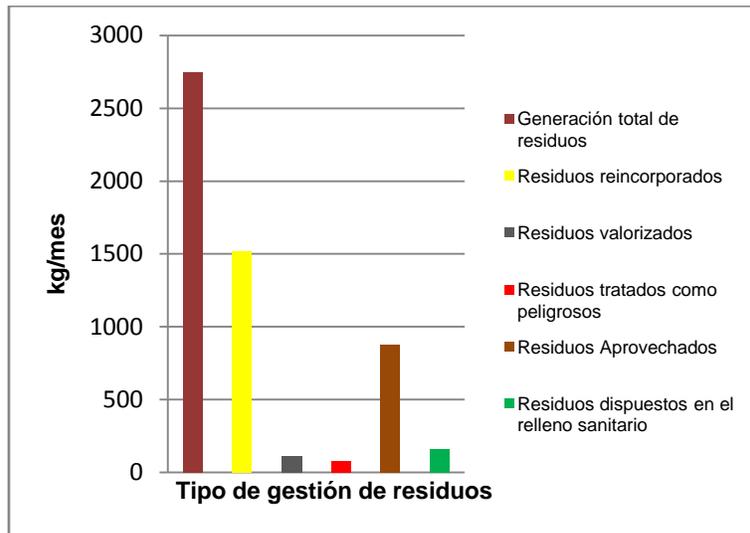
- *Material Particulado de caucho:* Este residuo no ha sido cuantificado y los operarios usan implementos de protección personal como tapabocas para prevenir la introducción de este material en las vías respiratorias. Este material es barrido y recogido una vez llega al suelo.
- *Ripio de caucho:* Se origina en el proceso de tamizado debido al movimiento de la zaranda que permite que parte de este se salga de los recipientes respectivos. Este material es recogido y reincorporado a las etapas de pulverizado-tamizado hasta obtener el tamaño de partícula deseado.
- *Metal:* Este material se vende como chatarra a empresas recicladoras.
- *Polvo de caucho:* Este residuo se genera cuando el tanque de almacenamiento se colmata y se rebosa el contenido ó cuando se transporta material de un lado a otro, generándose una acumulación y pérdida de producto. Este material es reintegrado a la etapa de tamizado.

- *Residuo mantenimiento autoclave:* Dentro del autoclave utilizada en el proceso de regeneración de caucho se acumula en las paredes material cocinado, que es retirado en las actividades de mantenimiento y limpieza, para finalmente reincorporarlo a la etapa de trozado.
- *Escoria:* Es entregada a la empresa municipal de aseo, quienes se encargan de disponerlas en rellenos de parqueaderos o terrenos de construcción.
- *Hilaza impregnada de aceite:* Resulta de la limpieza de derrames de aceite, que son separadas como residuos peligrosos para ser tratadas en el horno incinerador de la empresa municipal de aseo.
- *Partes rígidas de la bolsa tipo viaflex:* Estas partes son una combinación de PVC rígido y caucho que no son utilizadas dentro del proceso de inyección, de tal manera que son separadas como residuos peligrosos para ser enviadas a incineración.
- *Empaques materia prima (sacos polipropileno y papel):* Estos sacos son reutilizados para empacar mezclas internas y para transporte de sustancias dentro de la empresa. Cuando no es posible su reutilización, son enviados al servicio de incineración.
- *Residuo inyectoras de PVC:* Este residuo es reincorporado al proceso de trozado.
- *Residuo inyectoras de caucho:* Este residuo es reincorporado al proceso de regenerado.
- *Residuo pulido PVC:* Es enviado a la zona de trozado para incorporarlo de nuevo a la cadena de producción.

- *Residuo pulido caucho*: Es enviado a la zona de trozado para incorporarlo de nuevo a la cadena de producción y si el residuo está en malas condiciones es enviado al relleno sanitario.
- *Residuo Químico*: Se reutiliza en las mezclas de producción.
- *Material particulado de negro de humo (NH) y otros químicos*: Este residuo es controlado a través de una cabina que evita su aspersión a la atmósfera y es precipitado para almacenarlo y posteriormente ser tratado.
- *Papel –Cartón*: Este es separado y donado al Hospital Infantil Rafael Henao Toro de la ciudad de Manizales.
- *Plástico*: Este es separado y donado al Hospital Infantil Rafael Henao Toro de la ciudad de Manizales.
- *Residuo Ordinario*: Es enviado al relleno sanitario.
- *Aceite usado*: Este aceite se genera por el mantenimiento de los equipos involucrados en los diferentes procesos. Este es recolectado para ser enviado a la sección de caucho regenerado o a la sección de vulcanizado para usarlo como aceite plastificante.
- *Lámparas*: Estas lámparas cuando son cambiadas son enviadas al relleno sanitario

Debido al tipo y cantidad de residuos generados en C.I. PLASTIGOMA S.A., el deterioro ambiental que estos pueden causar es mínimo, debido a la gestión que actualmente se

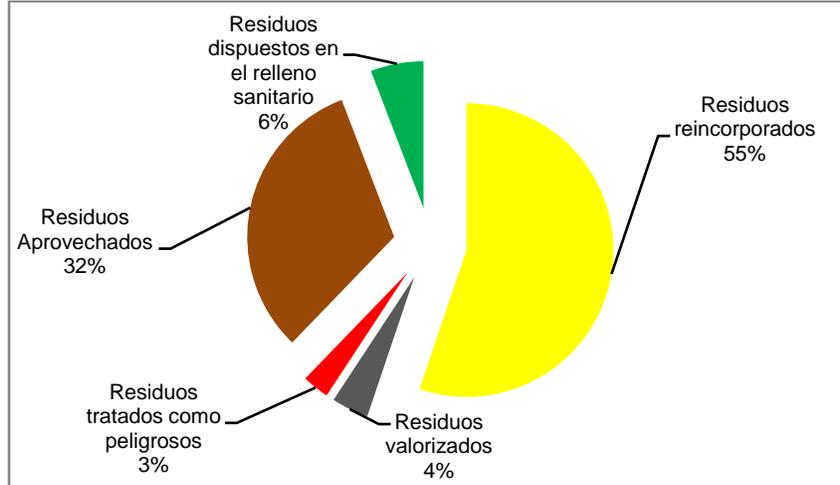
realiza, especialmente a los de carácter peligroso, a la reincorporación a las diferentes etapas, a la valorización y al aprovechamiento, como se muestra a continuación:



**Gráfica 15. Cantidad y tipo de gestión realizada a los residuos generados en C.I PLASTIGOMA**

De acuerdo a la gráfica anterior, de la totalidad de los 2.748,42 kg/mes de residuos generados en C.I PLASTIGOMA S.A., 1516,6 kg/mes son reincorporados al proceso; 112 kg/mes son valorizados; 878,5 kg/mes son aprovechados; 81,3 kg/mes reciben tratamiento como peligrosos y 160 kg/mes son dispuestos en el relleno sanitario.

En la gráfica 16 se puede observar en porcentaje, el tipo de gestión que reciben los residuos sólidos generados, indicando que el 91% de estos son reincorporados, valorizados y aprovechados, el 6% es dispuesto en el relleno sanitario y el 3 % restante es tratado como residuo peligroso



**Grafica 16. Tipo de gestión realizada a los residuos sólidos generados**

### 9.4.1.3 Contaminación del aire

Los gases de combustión de caldera y el material particulado generado en las etapas de pulverizado y homogenizado son las principales emisiones atmosféricas que se presentan en C.I. PLASTIGOMA S.A.

De acuerdo a estudios isocinéticos realizados para el Plan de Manejo Ambiental <PMA> de la empresa, necesario para la obtención de la licencia ambiental, las características de los gases de combustión son las siguientes<sup>38</sup>:

**Tabla 11. Características de los gases de combustión de C.I. PASTIGOMA S.A**

| Parámetro            | Unidades | Valor    |
|----------------------|----------|----------|
| Caudal               | CFM      | 3.012,75 |
| SO <sub>2</sub>      | ppm      | 49       |
| NO <sub>2</sub>      | ppm      | 57       |
| CO                   | ppm      | 874,75   |
| CO <sub>2</sub>      | kg/h     | 40       |
| Material particulado | kg/h     | 0,1699   |

<sup>38</sup> Tomado del Plan de Manejo Ambiental C.I. PLASTIGOMA S.A.

Según el artículo 1° del decreto 619 de 1997, no se requiere permisos de emisiones, puesto que el consumo de carbón en la caldera es inferior a 500 kg/h, no obstante, se cuenta con sistemas de remoción de material particulado (ciclones) para mejorar la calidad del aire:



**Imagen 49. Ciclones para la remoción de material particulado**

Las emisiones de material particulado generadas en la etapa homogenizado (proceso de vulcanizado), son controladas por medio de una cabina que evita la aspersion a la atmósfera. Caso contrario sucede en la etapa de pulverizado (proceso de RECCOL), en donde las partículas se dispersan en el área de trabajo, ocasionando inconvenientes relacionados con el aspecto de salud ocupacional.



**Imagen 50. Dispersión de partículas en pulverizado**

#### **9.4.1.4 Generación de aguas residuales**

La caldera y la autoclave son las únicas fuentes de generación de aguas residuales industriales, al momento de realizarse purgas o desfogues, los cuales están conformados por condensados, producidos por un cambio de fase del estado vapor al estado líquido, debido a la disminución de temperatura. Estos condensados son conducidos al sistema séptico, para descargarse posteriormente al alcantarillado del parque industrial. De igual manera, las actividades de tipo doméstico generan aguas residuales, que son tratadas en el sistema séptico.

#### **9.4.1.5 Relación con el medio socioeconómico**

La empresa C.I. Plastigoma S.A. incentiva la generación de sesenta empleos directos, incrementando el desarrollo económico de la comunidad. No se presenta ningún inconveniente en cuanto a la generación de olores y deterioro paisajístico debido a las características y uso del suelo del sector.

### **9.5 Requerimientos energéticos y descargas contaminantes para la producción de caucho en bruto y PVC virgen vs procesos de reciclaje en C.I. PLASTIGOMA S.A.**

#### **9.5.1 Consumo de energía en relación al caucho**

El consumo de energía en Megajulios/ton para la regeneración (RECCOL) y vulcanizado del caucho es el siguiente:

RECCOL:

**Tabla 12. Consumo energético en RECCOL (regenerado de caucho)**

| <b>Etapas</b> | <b>MJ/mes</b>     | <b>MJ/ton de caucho regenerado</b> |
|---------------|-------------------|------------------------------------|
| Trozado       | 30.925,67         | 1.794,8                            |
| Pulverizado   | 113.392,8         | 6.580,9                            |
| Tamizado      | 16.390,8          | 951,3                              |
| Mezclador     | 3.092,567         | 179,48                             |
| Autoclavado   | 3.092,567         | 179,48                             |
| Secado        | 4.638,816         | 269,21                             |
| Caldera       | 223.848,7         | 12.991,36                          |
| <b>Total</b>  | <b>395.381,94</b> | <b>22.946,53</b>                   |

Vulcanizado:

**Tabla 13. Consumo energético en Vulcanizado**

| <b>Etapas</b>  | <b>MJ/mes</b>     | <b>MJ/ton de caucho vulcanizado</b> |
|----------------|-------------------|-------------------------------------|
| Inyección      | 99.867,34         | 5.795,92                            |
| Homogenización | 82.468,45         | 4.786,2                             |
| Mezclado       | 3.092,566         | 179,48                              |
| Prensado       | 16.292,27         | 945,54                              |
| Caldera        | 108.328,2         | 6.286,9                             |
| <b>Total</b>   | <b>310.049,12</b> | <b>17.994,1</b>                     |

El consumo total de energía para el procesamiento del caucho es el siguiente:

**Tabla 14. Consumo energético total para la obtención de productos de caucho**

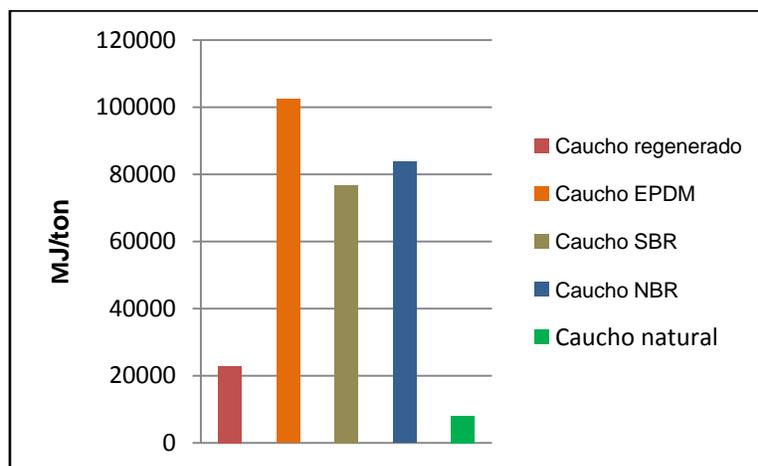
| <b>Sección</b> | <b>MJ/mes</b>     | <b>MJ/ton de caucho tratado</b> |
|----------------|-------------------|---------------------------------|
| RECCOL         | 395.381,94        | 22.946,53                       |
| Vulcanizado    | 108.328,2         | 17.994,1                        |
| <b>Total</b>   | <b>503.710,14</b> | <b>40.949,6</b>                 |

La energía necesaria para la producción de caucho en bruto se muestra a continuación<sup>39</sup>:

**Tabla 15. Consumo energético para la producción de caucho en bruto**

| Componente   | Requerimientos de energía MJ/ton |
|--|----------------------------------|
| Caucho sintético EPDM (etileno propileno dieno clase-M)    | 102.342,9                        |
| Caucho sintético SBR (estireno/butadieno)                  | 76.757,21                        |
| Caucho sintético NBR (NBR caucho acrílo-nitrilo-butadieno) | 83.735,14                        |
| Caucho natural   | 8.000                            |

Como se observa en la gráfica 17, el requerimiento de energía para la producción de una tonelada de caucho sintético en bruto o virgen, es entre un 446% y 334,5% superior a las necesidades energéticas para el regenerado de la misma cantidad llevado a cabo en C.I. PLASTIGOMA S.A, lo que hace viable desde el punto de vista energético, el reciclaje de este material.



**Gráfica 17. Energía requerida por tonelada de caucho producido y regenerado**

<sup>39</sup> PIRNIE Malcom. Greenhouse Gas Inventory and Product Life Cycle Analysis – Phase 2007. [En línea]. [Consultado el 14 de mayo de 2009]. Disponible [http:// www.arb.ca.gov/research/seminars/horvath/horvath.pdf](http://www.arb.ca.gov/research/seminars/horvath/horvath.pdf)

Caso contrario sucede con el consumo de energía para la obtención de una tonelada de caucho natural, que es un 65% menor que los requerimientos energéticos para el regenerado. En este sentido debe tenerse en cuenta que la producción de caucho natural está relacionada con problemas ambientales que incluyen contaminación del agua y del aire. Según Surajit Tekasakul (2006), la industria del caucho natural genera entre 5,2 y 13,4m<sup>3</sup> de agua residual/ton de caucho producido, con las siguientes características<sup>40</sup>:

**Tabla 16. Características de las aguas residuales generadas en la producción de caucho**

| Propiedad                | Producción de caucho natural |
|--------------------------|------------------------------|
| pH                       | 4,8                          |
| Sólidos suspendidos mg/L | 42.550                       |
| DQO mg/L                 | 32.690                       |
| DBO <sub>5</sub> mg/L    | 13.760                       |
| Nitrógeno total mg/L     | 4.620                        |
| NH <sub>4</sub> mg/L     | 3.430                        |

Por lo tanto, la regeneración de 17.230 toneladas de caucho en C.I. PLASTIGOMA S.A. evita el vertimiento de 89,59 m<sup>3</sup> a 230,88 m<sup>3</sup> de aguas residuales industriales, a lo que a la producción de caucho virgen se refiere.

### **9.5.2 Emisiones de CO<sub>2</sub> –producción de caucho en bruto vs procesos C.I PLASTIGOMA S.A.**

Según Jan van Beilen (2006), las emisiones de dióxido de carbono por kilogramo de caucho virgen y sintético producido es la siguiente<sup>41</sup>:

40 TEKASAKUL Surajit. Environmental Problems Related to Natural Rubber Production in Thailand. 2006. [En línea]. [Consultado el 20 de febrero de 2009]. Disponible [http://www.jstage.jst.go.jp/article/jar/21/2/21\\_122/\\_article](http://www.jstage.jst.go.jp/article/jar/21/2/21_122/_article)

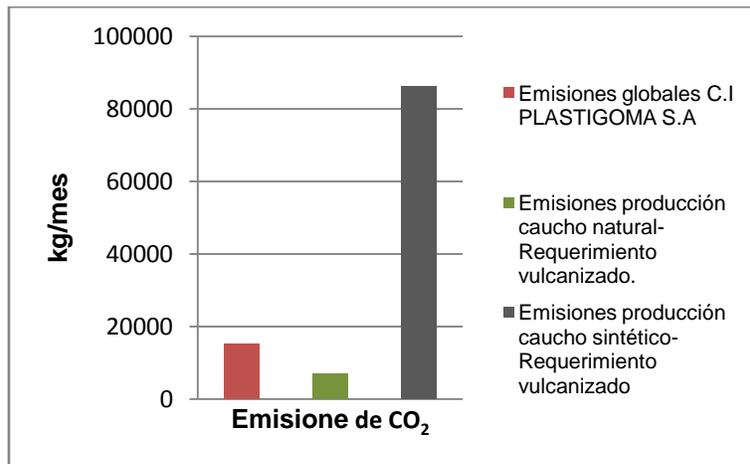
41 BEILEN Jan Van. Alternative Sources Of Natural Rubber. 2006. [En línea]. [Consultado el 20 de febrero de 2009]. Disponible [http://www.epobio.net/pdfs/0611NaturalRubberReport\\_c.pdf](http://www.epobio.net/pdfs/0611NaturalRubberReport_c.pdf)

**Tabla 17. Emisiones de CO<sub>2</sub> en la producción de caucho en bruto**

| Material producido | kg de CO <sub>2</sub> /kg de caucho |
|--------------------|-------------------------------------|
| Caucho natural     | 0,4                                 |
| Caucho sintético   | 5                                   |

Para el caso de C. PLASTIGOMA S.A, las emisiones globales de CO<sub>2</sub> para los tres procesos que se llevan a cabo (regenerado, vulcanizado e inyección) son del orden de 15360kg/mes.

Como puede observarse en la gráfica 18, la utilización en el proceso de vulcanizado de caucho en bruto, como materia prima (17.230 kg/mes), causaría en las empresas que se dedican al procesamiento de caucho natural, la emisión de 6892 kg de CO<sub>2</sub> aproximadamente, lo que corresponde al 44% de las emisiones totales de C.I PLASTIGOMA S.A. (generadas en la fabricación de toda su línea de productos, incluidas la de PVC). Del igual modo, al abastecer esta misma cantidad, pero en caucho sintético, las plantas dedicadas a su producción emitirían alrededor de 86150kg de CO<sub>2</sub>, lo que representa el 560% de las emisiones totales de C.I PLASTIGOMA S.A.



**Grafica 18. Emisiones de CO<sub>2</sub> globales C.I PLASTIGOMA S.A y emisiones para la producción de caucho natural y sintético**

### 9.5.3 Consumo de energía en relación al procesamiento de PVC virgen

El consumo de energía en Megajulios/ton de PVC, en el área de inyección para la producción de motopartes y maniguetas es el siguiente:

**Tabla 18. Consumo energético en Inyección**

| <b>Etapas</b> | <b>MJ/mes</b>    | <b>MJ/ton de PVC procesado</b> |
|---------------|------------------|--------------------------------|
| Caldera       | 37.827,1         | 5.673,78                       |
| Autoclavado   | 3.092,567        | 463,86                         |
| Trozado       | 16.523,39        | 2.478,38                       |
| Mezclado      | 3.092,567        | 463,86                         |
| Peletizado    | 13.402,8         | 2.010,29                       |
| Inyección     | 185.554          | 27.831,7                       |
| <b>Total</b>  | <b>259.491,9</b> | <b>38.921,9</b>                |

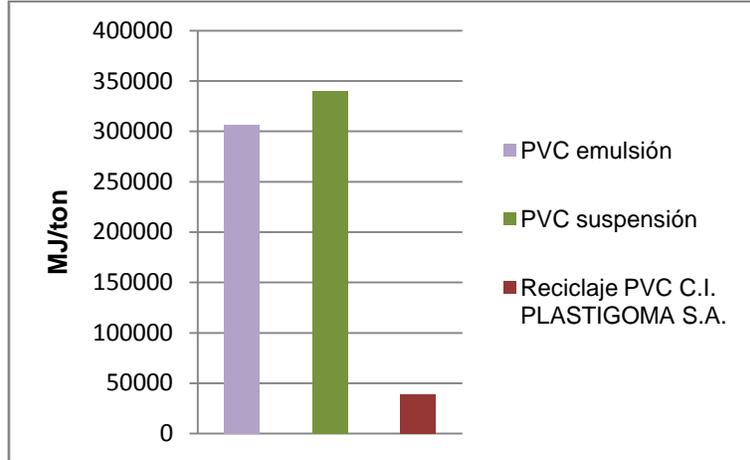
En la producción de PVC virgen, el consumo de energía por kilogramo de producto se muestra a continuación<sup>42</sup>:

**Tabla 19. Consumo energético para la producción de PVC virgen**

| <b>Material</b>   | <b>Energía primaria en MJ/kg</b> |
|-------------------|----------------------------------|
| PVC en suspensión | 51                               |
| PVC en emulsión   | 46                               |

Como se observa en la gráfica 19, el requerimiento de energía para la producción de una tonelada de PVC virgen, en suspensión o en emulsión, es entre un 788% y 873.5% superior a las necesidades energéticas para el reciclaje de la misma cantidad llevado a cabo en C.I. PLASTIGOMA S.A, lo que hace factible desde el punto de vista energético, el aprovechamiento de este material.

<sup>42</sup> ANIQ. Estudio Estratégico Ciclo de Vida del PVC. Resumen Ejecutivo. 2006. [En línea]. [Consultado el 14 de marzo de 2009]. Disponible en <http://www.aniq.org.mx/estudios/CiclodeVidaPVC.pdf>



Grafica 19. Energía consumida por tonelada de PVC virgen producido vs tonelada PVC reciclado

#### 9.5.4 Emisiones de CO<sub>2</sub> –producción de PVC virgen vs procesos C.I PLASTIGOMA S.A.

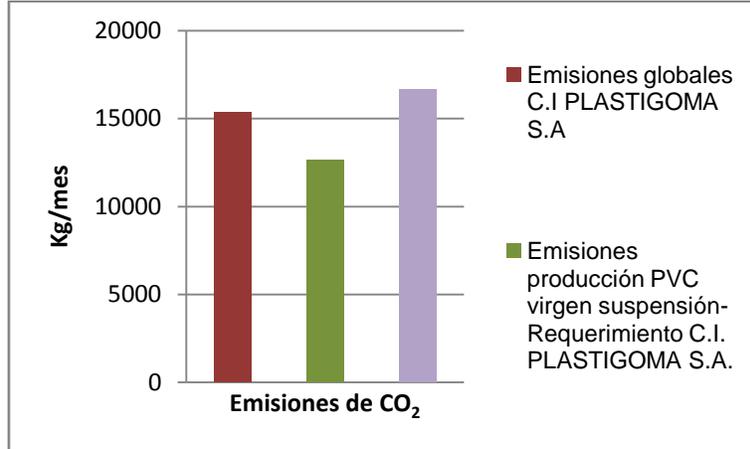
Según la Asociación Europea de Fabricantes de Plástico, Plastics Europe (2006) las emisiones de CO<sub>2</sub> para la producción de PVC es la siguiente<sup>43</sup>:

Tabla 20. Emisiones de CO<sub>2</sub> en la producción de PVC virgen

| Tipo de PVC    | Kg de CO <sub>2</sub> /kg de PVC |
|----------------|----------------------------------|
| PVC Suspensión | 1,9                              |
| PVC Emulsión   | 2,5                              |

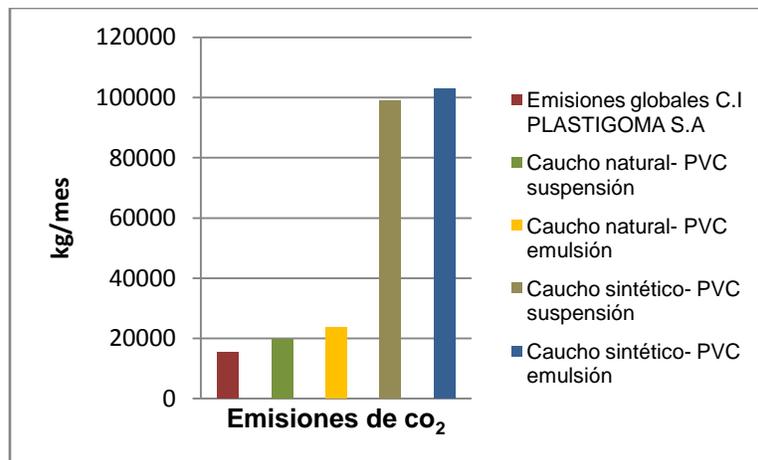
La anterior tabla indica que producir 6.667kg de PVC virgen, cantidad requerida en el proceso de inyección, generaría emisiones de 12.667,3 a 16667.5 kg de CO<sub>2</sub> para PVC en suspensión y emulsión, respectivamente, lo que representa el 82%-108% de las emisiones totales de C.I PLASTIGOMA S.A.

<sup>43</sup> PLASTIC EUROPE. Environmental Product Declarations of the European Plastics Industry. 2008. [En línea]. [Consultado el 20 de junio de 2009]. Disponible en <http://www.pvc.org/Media-Centre/.../EPDE-PVC>



Grafica 20. Emisiones de CO<sub>2</sub> globales C.I. PLASTIGOMA S.A y emisiones para la producción de PVC virgen

Finalmente, como se muestra en la gráfica 21, el proceso de reciclaje llevado a cabo en todas las líneas de C.I. PLASTIGOMA S.A., genera entre un 21,5% y 85% menos emisiones de CO<sub>2</sub>, que los procesos utilizados para la obtención de materia prima virgen (caucho + PVC).



Grafica 21. Comparación emisiones de CO<sub>2</sub> para la producción de caucho y PCV virgen y procesos de reciclado en C.I. PLASTIGOMA S.A.

Debe tenerse en cuenta que si se utiliza caucho en bruto, sea natural o sintético, como materia prima para vulcanizado, este debe someterse a la etapa de prensado, la cual utiliza vapor, lo que aumentaría las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## **9.6 Aspectos ambientales del horno incinerador utilizado para el tratamiento de residuos hospitalarios**

El horno incinerador perteneciente a la empresa de aseo de la ciudad de Manizales entró en funcionamiento desde marzo 2007 y opera 24 horas durante 20 días al mes; el resto del tiempo se detiene para llevar a cabo labores de mantenimiento. La capacidad del horno es 500 kg/h y la cantidad tratada de residuos (principalmente hospitalarios) es de aproximadamente 250 toneladas mensuales y presta servicio en todo el eje cafetero, incluido el Tolima, Norte del Valle y Parte de Cundinamarca. Este sistema está conformado por las siguientes unidades de combustión y de depuración de gases:

### **9.6.1 Cámara de combustión**

Los residuos sólidos son alimentados a un horno cilíndrico recubierto interiormente de material refractario. Este tiene una longitud de 8 metros, un diámetro de 2 metros. El cilindro está inclinado alrededor de 3° y rota a 3rev/min de manera que el tiempo de residencia esté entre 45 minutos y 1,5 horas. Al interior de la cámara se alcanza una temperatura entre 850°C y 900°C y la combustión se realiza con exceso de oxígeno, cuya proporción no está determinada.



**Imagen 51. Cámara de combustión**

### 9.6.2 Cámara de postcombustión

Los productos gaseosos no combustionados pasan a una segunda cámara de combustión. La temperatura que se alcanzan en este sistema está alrededor de 1.200 °C y el tiempo de residencia es de 4 segundos a carga máxima.



Imagen 52. Cámara de postcombustión

### 9.6.3 Semi dry scrubber

Los semi dry scrubber son sistemas que se utilizan para controlar los gases ácidos y partículas de emisiones de instalaciones de incineración de residuos<sup>44</sup>. En las instalaciones del horno incinerador, a través de éste dispositivo se hace pasar en paralelo una solución de hidróxido de sodio con el fin de neutralizar los gases clorados, de azufre y fluorados.

---

<sup>44</sup> PETUNCHI Juan O. PROCESOS DE COMBUSTION PARA LA ELIMINACION DE RESIDUOS PELIGROSOS. 2000. [En línea]. [Consultado el 15 de junio de 2009]. Disponible en <http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias2001/C1-305.pdf>



Imagen 53. Semi dry scrubber



Imagen 54. Recipiente para la preparación de NaOH

#### 9.6.4 Ciclones

Los ciclones son dispositivos que emplean la fuerza centrífuga para separar el polvo de la corriente gaseosa<sup>45</sup>. El horno incinerador en cuestión cuenta con sistemas que remueven partículas hasta un tamaño de 5 micras.



Imagen 55. Ciclones

---

<sup>45</sup> VÂNIA Chibante. Dry scrubbing of acid gases in recirculating cyclones. Elsevier 2007. [En línea]. [Consultado el 13 de mayo de 2009]. Disponible en <http://www.elsevier.com/locate/S0304389407001628>

### **9.6.5 Intercambiador de calor**

Un intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir calor de un fluido a otro, sea que estos estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto. Son parte esencial de los dispositivos de refrigeración, acondicionamiento de aire, producción de energía y procesamiento químico<sup>46</sup>. En las instalaciones del horno incinerador, se utiliza este equipo para enfriar los gases de combustión de 200°C a 100°C

### **9.6.6 Filtros de mangas**

Los filtros de mangas eliminan las partículas sólidas que arrastra una corriente gaseosa haciéndola pasar a través de un tejido. Constan de una serie de bolsas con forma de mangas, normalmente de fibra sintética o natural, colocadas en unos soportes para darles consistencia y encerrados en una carcasa de forma y dimensiones muy similares a las de una casa. El gas sucio, al entrar al equipo, fluye por el espacio que está debajo de la placa a la que se encuentran sujetas las mangas y hacia arriba para introducirse en las mangas. A continuación el gas fluye hacia afuera de las mangas dejando atrás los sólidos. El gas limpio fluye por el espacio exterior de los sacos y se lleva por una serie de conductos hacia la chimenea de escape<sup>47</sup>.

El sistema de incineración al cual se hace referencia cuenta con un filtro de manga constituido 200 mangas de teflón, el cual está en capacidad de retener partículas hasta un tamaño de 0,01 micras.

---

<sup>46</sup> CSN. Manual de procedimientos técnicos. Funcionamiento de los cambiadores de calor y del sumidero final de calor. 2005. [En línea]. [Consultado el 10 de enero de 2009]. Disponible en <http://www.csn.es/sisc/idb/pdfs/pt04206.pdf>

<sup>47</sup> EMISON. Filtros Mangas. 2008. [En línea]. [Consultado el 20 de febrero de 2009]. Disponible en <http://www.emison.es/medio-ambiente/pdf/.../filtro%20de%20mangas.pdf> -



**Imagen 56. Filtro de manga**

### **9.6.7 Torre lavadora**

Las torres lavadoras o scrubber son métodos de separación o filtración utilizados para remover partículas y gases simultáneamente, por intercepción de un líquido lavador<sup>48</sup>. En el incinerador local, la torre lavadora es utilizada como un sistema de respaldo por si alguna de las variables monitoreadas temperatura superior a 100 °C, material particulado y pH) en la zona de descargue (chimenea) están por fuera de la normatividad ambiental vigente.



**Imagen 57. Torre lavadora**

---

<sup>48</sup> MAHLMEISTER M. E. Designing a Scrubber for Maintenance. 2005. [En línea]. [Consultado el 6 de febrero de 2009]. Disponible en <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/463544-ftB8Fy/.../463544.pdf>

### **9.6.8 Eco-balance del proceso de tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios por incineración.**

El ecobalance del proceso de tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios a través de la incineración que realiza la empresa municipal de aseo es el siguiente:

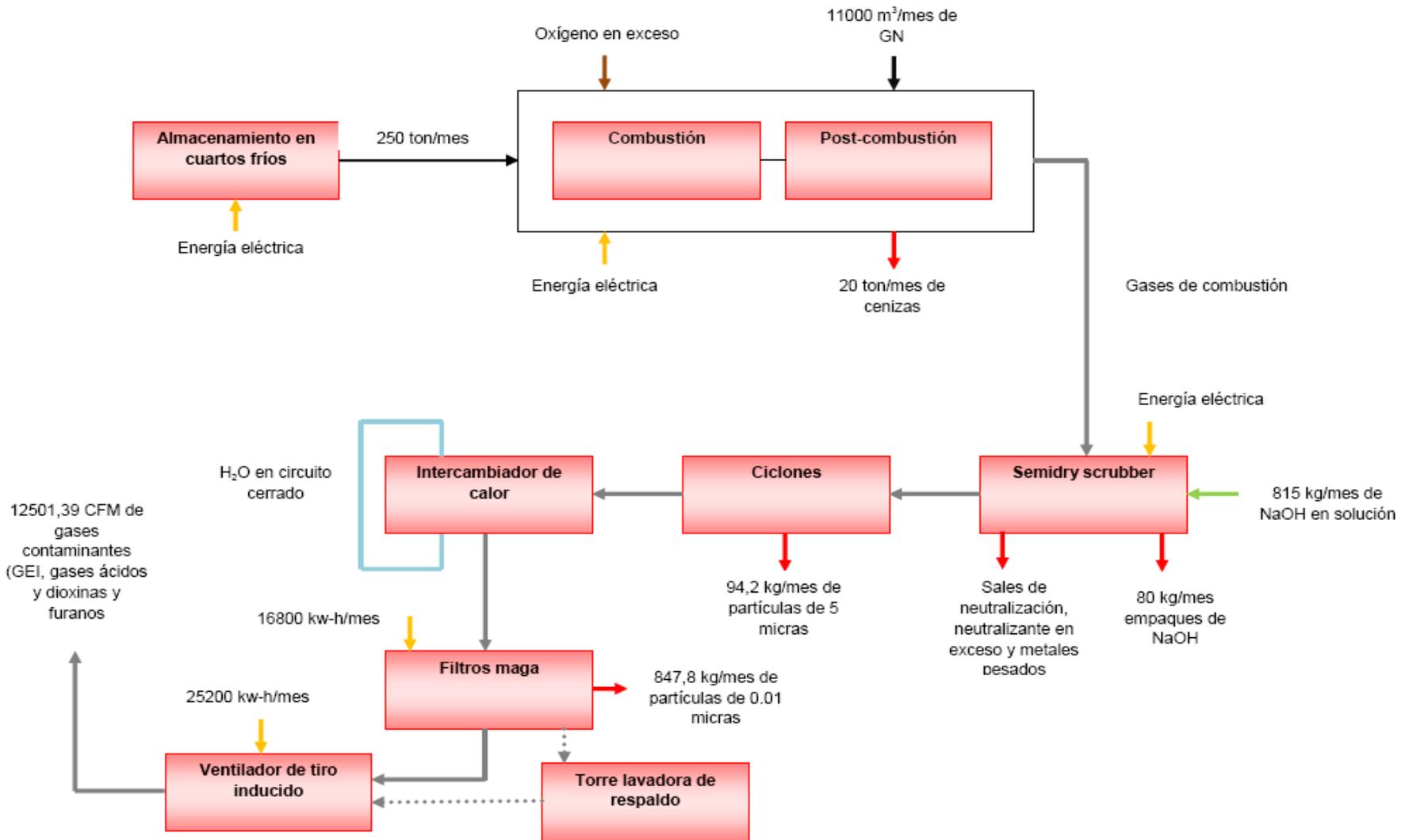


Diagrama 9. Eco-balance horno incinerador  
Fuente: Autor

### 9.6.8.1 Generación de residuos sólidos en el horno incinerador

Cuando los residuos sólidos se incineran, no desaparecen como se percibe comúnmente, debido a que la materia física no puede ser destruida, únicamente se transforma. En ese sentido, este tipo de gestión se limita a cambiar la forma de los residuos, convirtiéndolos en emisiones gaseosas, cenizas y material particulado o cenizas volantes<sup>49</sup>.

En el proceso de incineración se generan residuos, básicamente compuestos inorgánicos, que salen del sistema como cenizas de fondo de la cámara de combustión, sólidos separados en el sistema de tratamiento de gases y pequeñas cantidades que pueden permanecer en la corriente gaseosa, dependiendo de la eficiencia de las unidades de depuración.

**Tabla 21. Residuos sólidos generados en el horno incinerador**

| Residuo                                    | Origen           | Cantidad        |
|--|------------------|-----------------|
| Cenizas                                    | Combustión       | 20 ton/mes      |
| Empaques de NaOH                           | Semidry scrubber | 80 kg/mes       |
| Sales de neutralización                    | Semidry scrubber | No cuantificado |
| Material particulado >5 micras             | Ciclones         | 94,2 kg/mes     |
| Material particulado entre 5 y 0.01 micras | Filtros de manga | 847,8 kg/mes    |

Las cenizas volantes removidas por los equipos de limpieza de gases y las cenizas generadas en la combustión contienen numerosos productos químicos peligrosos, como las dioxinas y metales pesados, que tienen efectos tóxicos para todas las formas de vida.<sup>50</sup>

Debido a que la empresa municipal de aseo no cuenta con celdas de seguridad, esta dispone las cenizas y las partículas suspendidas totales (PST) en el relleno sanitario, sin procedimientos de encapsulamiento. La anterior medida no cumple con lo establecido en el artículo 22 del decreto 058 de 2002, en donde se determina que estos residuos deben ser dispuestos en rellenos de alta seguridad y de no existir éstos, deben ser encapsuladas herméticamente para poderse disponer en el relleno sanitario.

<sup>49</sup> ALLSOPP Michelle, INCINERATION AND HUMAN HEALTH . 2002. [En línea]. [Consultado el 12 de abril de 2009]. Disponible en <http://www.umanotera.org/upload/files/euincin.pdf>

<sup>50</sup>IBID



**Imagen 58. Cenizas de combustión**



**Imagen 59. PST ciclones**



**Imagen 60. PST filtros de manga**

Como consecuencia de la ausencia del encapsulamiento, la disposición de estos residuos en el relleno sanitario genera lixiviados que deben ser tratados en plantas de depuración, con el fin de mitigar los impactos negativos sobre las fuentes de agua superficiales, como es el caso de la Quebrada Olivares, que es la principal fuente receptora de estas corrientes residuales. Estos lixiviados tienen las siguientes características<sup>51</sup>:

---

<sup>51</sup> Resultados de análisis de TCLP realizados en el 2008 por la Universidad Nacional sede Manizales, para la Empresa Metropolitana de Aseo, EMAS

**Tabla 22. Resultados TCLP para cenizas y PST**

| Determinación | Unidades | Resultado |
|---------------|----------|-----------|
| Mercurio      | mg/l     | 0,00045   |
| Cromo         | mg/l     | 4,13      |
| Xelenio       | mg/l     | 0,94      |
| Plomo         | mg/l     | 0,02      |
| Cadmio        | mg/l     | 0,04      |

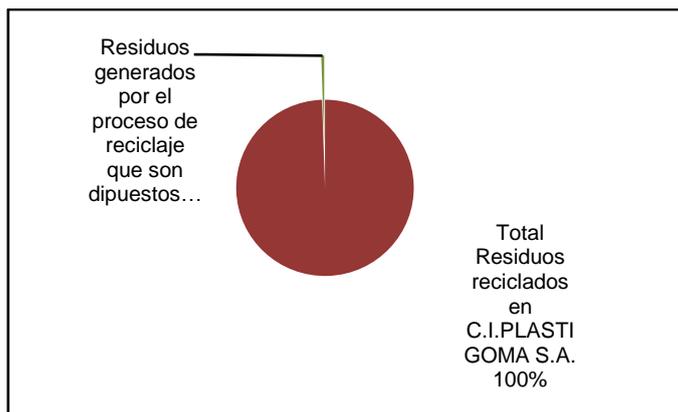
De acuerdo a los resultados de las pruebas de TCLP, en lo relacionado con el cromo y el selenio, las concentraciones sobrepasan las cargas máximas permisibles para sustancias de interés sanitario incluidas en el decreto 1594 de 1984, el cual establece un valor máximo de 0,5mg/L para ambos casos

#### **9.6.8.2 Porcentaje de residuos sólidos no aprovechados, que se generan en los procesos de reciclaje de C.I PLASTIGOMA S.A y en la incineración**

La empresa C.I PLASTIGOMA S.A está autorizada ambientalmente para la valorización y aprovechamiento de residuos sólidos (incluidos de carácter peligroso como el aceite usado) y tiene la capacidad de incorporar material hospitalario (guantes quirúrgicos, equipos de venoclisis y bolsas tipo viaflex) que se generan en el departamento de Caldas y que en la actualidad son tratados través de la incineración, lo que la convierte en una alternativa de gestión para este tipo de residuos.

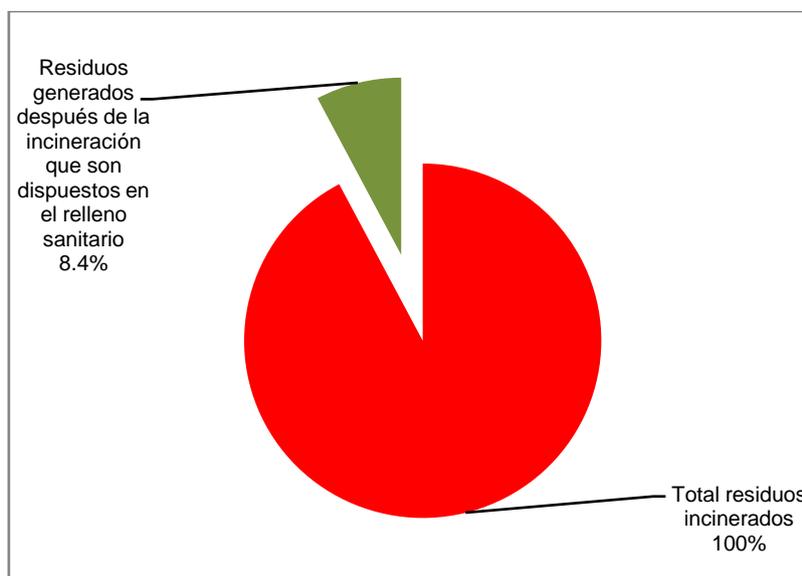
La incineración y el reciclaje en C.I PLASTIGOMA S.A. generan residuos sólidos que no son aprovechados y que finalmente son dispuestos en el relleno sanitario o son incinerados, cuyo porcentaje se muestran en las gráficas 16 y 17:

Como se observa en la gráfica 16, de la totalidad de residuos que se generan en C.I. PLASTIGOMA S.A., el 0,53% son dispuestos en el relleno sanitario o son incinerados, es decir, el 99% del material que es entregado a esta empresa se transforma en nuevos productos que son comercializados en el mercado.



**Grafica 22. Residuos generados en C.I PLASTIGOMA S.A que no son aprovechados**

Con respecto a la incineración, la gráfica 23 indica que durante los procesos de combustión y de depuración de gases, persiste una cantidad residual que corresponde al 8,4% del total de los residuos incinerados, que finalmente son dispuestos en el relleno sanitario; la cantidad restante se transforma en gases que son emitidos a la atmósfera. Esta alternativa de gestión no recupera la energía de la combustión de los residuos incinerados para la producción de electricidad, lo que la hace una solución de final de tubo.



**Grafica 23. Residuos generados en después del tratamiento de incineración**

### 9.6.8.3 Emisiones a la atmósfera generadas por la incineración de residuos

La empresa consultora ada & co Ltda. realizó para EMAS en julio de 2008, un estudio de calidad del aire para las emisiones del horno incinerador, sin incluir pruebas de dioxinas y furanos, los cuales se muestran a continuación:

**Tabla 23. Características de los gases de chimenea del horno incinerador, sin incluir dioxinas y furanos**

| Parámetro             | Unidades          | Valor     |
|-----------------------|-------------------|-----------|
| Caudal                | CFM               | 12.501,39 |
| SO <sub>2</sub>       | mg/m <sup>3</sup> | 26,7      |
| NO <sub>2</sub>       | mg/m <sup>3</sup> | 36,4      |
| CO                    | ppm               | 5         |
| CO <sub>2</sub>       | kg/h              | 48        |
| Material particulado  | kg/h              | 0,102     |
| Ácido clorhídrico HCL | mg/m <sup>3</sup> | 259,2     |
| Ácido fluorhídrico HF | mg/m <sup>3</sup> | 8,3       |

Debido a que el combustible utilizado en el horno incinerador es gas natural, los gases de combustión son bajos en material particulado, SO<sub>2</sub>, CO y NO<sub>2</sub>, cuyos valores son menores que lo reportados en las emisiones de la caldera a carbón de C.I PLASTIGOMA S.A. (esta situación puede cambiar si se reconvierte tecnológicamente la caldera con el cambio del carbón como combustible a gas natural).

No obstante, las emisiones del horno incinerador presentan otros contaminantes como gases ácidos conformados por ácido clorhídrico y fluorhídrico (HCL y HF) que son precursores de la lluvia ácida y tienen una variedad de efectos en la salud, provocando especialmente problemas respiratorios. Estos se presentan gracias a que gran parte de los residuos incinerados contienen flúor y cloro, que a través de reacciones de oxidación (debido a la presencia de oxígeno), se transforman en algunos productos como los anteriormente mencionados<sup>52</sup>.

Las concentraciones de HCL y HF superan los valores permisibles incluidos en la resolución 0886 de 2004, la cual establece que los máximos valores que puede ser emitidos por los hornos incineradores deben ser de 40 y 4 mg/m<sup>3</sup> respectivamente, lo que indica que los sistemas de tratamiento para estos

<sup>52</sup> BJÖRKLUND Anna. Environmental Assessment of a Waste Incineration Tax. 2003. [En línea]. [Consultado el 11 noviembre de 2008]. Disponible en [http://www.infra.kth.se/.../fms-r-184\\_env\\_ass\\_waste\\_incin\\_tax-bjorklund-mfl.pdf](http://www.infra.kth.se/.../fms-r-184_env_ass_waste_incin_tax-bjorklund-mfl.pdf)

gases como el semidry scrubber y la torre lavadora, no son suficientes para su completa neutralización.

Por otro lado, estos gases de combustión contienen dioxinas y furanos que son un grupo de compuestos con estructura química similar. Son compuestos que se producen involuntariamente en los procesos de combustión que involucran el cloro. Este grupo abarca a las dibenzo-p-dioxinas policloradas, furanos, bifenilos policlorados (PCBs), y otros compuestos clorados<sup>53</sup>.

Según el estudio denominado “Evaluación de Dióxinas y Furanos en la Emisión Atmosférica del Incinerador Rotatorio” realizado en diciembre de 2007 para la empresa metropolitana de aseo, las concentraciones de estos contaminantes en los gases de combustión fueron las siguientes:

**Tabla 24. Concentración de dioxinas y furanos**

| Contaminante, ng TEQ/m <sup>3</sup> | Emisión |
|-------------------------------------|---------|
| Dioxinas (1-7) y Furanos (1-10)     | 0,089   |

Teniendo en cuenta que el artículo 7 del decreto 058 de 2002 establece que las emisiones de los hornos incineradores no deben ser superiores a 0,1ng Equivalente Toxicológico/m<sup>3</sup>, los resultados revelan que se cumple la norma en lo que tiene que ver a estos contaminantes.

Sin embargo, las dioxinas y furanos son Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs) y son sustancias sumamente tóxicas aún en muy bajas concentraciones, persisten en el medio ambiente por períodos prolongados sin degradarse, se concentran en los tejidos grasos de los organismos vivos, se van acumulando a medida que asciende la cadena alimentaria (proceso llamado biomagnificación), y se transmiten de la madre al bebe durante la gestación o la lactancia. La Agencia de Protección del Medio Ambiente de EE.UU. ha concluido que la fuente más importante de exposición a las dioxinas es la alimentación<sup>54</sup>.

<sup>53</sup> FUSTER CAMP Gerard. Análisis de Flujos de Substancias: una Herramienta Aplicada a la Evaluación de Riesgos por Dioxinas en la Provincia de Tarragona. Tesis Doctoral. 2002. [En línea]. [Consultado el 8 noviembre de 2008]. Disponible en <http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0606103-090636/>

<sup>54</sup> IBID

Por otra parte, estos compuestos pueden ser fácilmente transportados tanto por agua como por aire, desde la incineradora que le dio origen a puntos muy alejados. Estos COPs son causantes de una variedad de problemas en la salud, incluyendo malformaciones congénitas, desarrollo anormal del feto, alteraciones en el sistema inmunológico y en el sistema hormonal, desórdenes en el comportamiento, aumento en la incidencia de diabetes, retraso en el desarrollo, y cáncer. La más tóxica de las dioxinas (2, 3, 7, 8-tetraclorodibenzo-p-dioxina) ha sido clasificada como “cancerígeno humano cierto” por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer, dependiente de la Organización Mundial de la Salud<sup>55</sup>.

### 9.7 Consumo de energía para el proceso de incineración

Las actividades en las cuales se consume energía dentro el proceso de incineración son las siguientes<sup>56</sup>:

**Tabla 25. Actividades directas e indirectas que requieren energía en la incineración**

|                    |  |
|--------------------|--|
| Consumo de energía | Incineración   |
|                    | Actividades directas   |
|                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilización de gas natural en la combustión</li> <li>• Electricidad utilizada para el tratamiento de lixiviados</li> <li>• Electricidad utilizada para la depuración y evacuación de gases</li> </ul> |
|                    | Actividades indirectas   |
|                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energía utilizada para la producción de NaOH.</li> <li>• Electricidad que deja de generarse por no existir procesos de recuperación de energía.</li> </ul>  |

Teniendo en cuenta la tabla 25, el consumo de energía para el horno incinerador de la empresa metropolitana de aseo, es aproximadamente el siguiente:

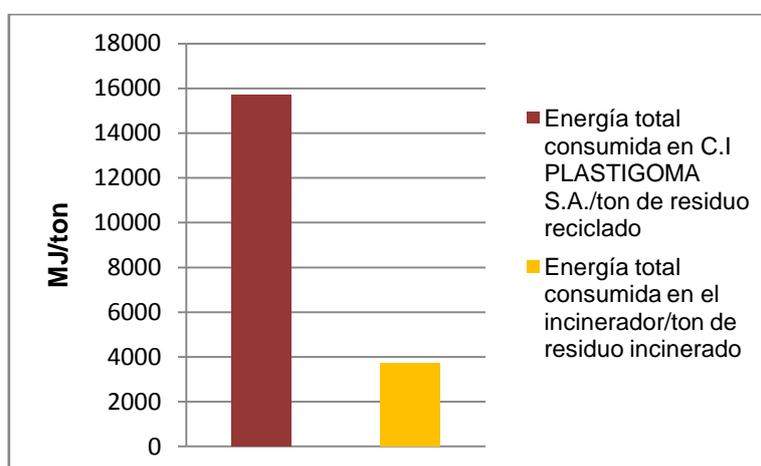
<sup>55</sup> MARTINEZ DE BASCARN. Riesgos y Efectos Producidos por las Dioxinas. 2000. [En línea]. [Consultado el 18 octubre de 2008]. Disponible en <http://www.cepis.org.pe/bvsci/fulltext/riesgos.pdf>

<sup>56</sup> LIAMSANGUAN Chalita. LCA: A decisión support tool for environmental assessment of MSW management systems. Elsevier. 2008 [En línea]. [Consultado el 30 octubre de 2008]. Disponible en <http://www.linkinohub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479707000242>

**Tabla 26. Consumo energético del proceso de incineración**

| Actividades directas                                 | MJ/mes           | MJ/ton de residuos incinerados |
|--|------------------|--------------------------------|
| Combustión   | 398.811,5        | 1.595,24                       |
| Filtros de manga                                     | 60.480           | 241,92                         |
| Ventilador de tiro inducido                          | 90.720           | 362,9                          |
| Electricidad tratamiento de lixiviados <sup>57</sup> | 3.000            | 12                             |
| <b>Subtotal</b>                                      | <b>553.011,5</b> | <b>2.212,04</b>                |
| <b>Actividades indirectas</b>                        | <b>13.402,8</b>  | <b>2.010,29</b>                |
| Producción de NaOH <sup>21</sup>                     | 10.503,7         | 42                             |
| Energía no recuperada <sup>22</sup>                  | 364.500          | 1458                           |
| <b>Subtotal</b>                                      | <b>375.003,7</b> | <b>1500</b>                    |
| <b>Total</b>   | <b>928.015,2</b> | <b>3.712,06</b>                |

En términos comparativos, el consumo energético por tonelada reciclada en C.I PLASTIGOMA S.A vs tonelada tratada en el horno incinerador, es el siguiente:



**Grafica 24. Energía global/ton consumida en C.I PLASTIGOMA S.A vs incineración**

La gráfica 24 indica que el consumo de energía en el horno incinerador es 4,2 veces menor que los requerimientos para el proceso de reciclaje. En ese sentido, debe tenerse en cuenta que la incineración ofrecida por la empresa metropolitana de aseo es una solución de final de tubo, debido a que no se aprovecha la energía generada por la combustión de los residuos y se generan corrientes residuales altamente contaminantes. Por el contrario, C.I PLASTIGOMA S.A incorpora dentro de sus procesos residuos de caucho, látex, PVC y aceite usado, para ser transformados en productos de larga vida útil, evitándose el consumo de energía y recursos naturales para la producción de material virgen.

<sup>57</sup> . <sup>21</sup>, <sup>22</sup> Valores aproximados de acuerdo a lo reportado en el artículo LCA: A decision support tool for environmental assessment of MSW management systems de la publicación Elsevier, 2008.

## 9.8 Costos de tratamiento y beneficios económicos derivados de la gestión de los residuos objeto de estudio

Las características y costos de tratamiento de los residuos de interés generados en las IPS encuestadas se muestran a continuación:

**Tabla 27. Características y costos de tratamiento para la gestión de los residuos de interés**

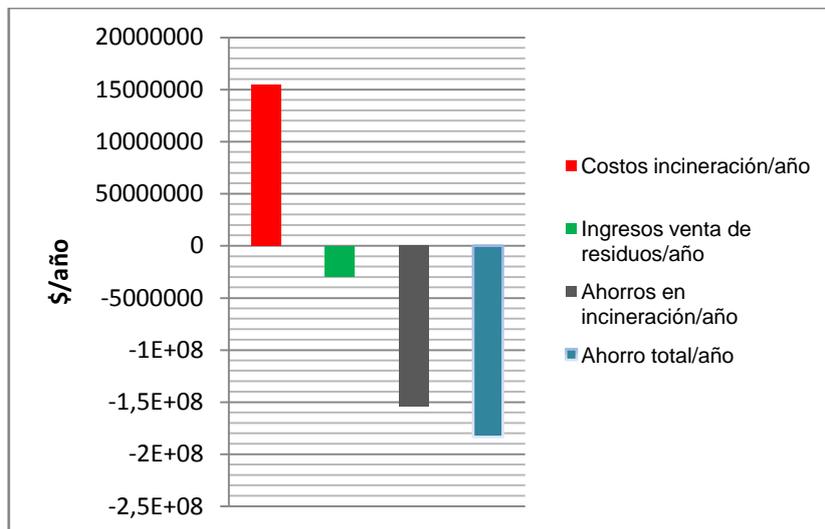
| Residuo               | Peso en gramos                             | Constituyente principal    | Usos y presentaciones   | Costo tratamiento \$/kg incineración | Costo tratamiento \$/kg C.I. PLASTIGOMA | Valor/kg C.I. PLASTIGOMA |
|-----------------------|--|----------------------------|---|--------------------------------------|---|--------------------------|
| Bolsa tipo viaflex    | 500 ml: 26,6<br>250 ml: 22.5<br>100 ml: 18 | PVC en suspensión flexible | Contiene líquidos como: solución salina, harman, dextrosa y agua estéril  | 3.500                                | 0                                       | 600                      |
| Equipos de venoclisis | 26,2                                       | PVC en suspensión flexible | Se utiliza para la infusión de sueros y en procedimientos de aplicación de terapias intravenosas .<br><br>Se encuentran en presentaciones de micro y macro goteo.                     | 3.500                                | 0                                       | 600                      |
| Guantes quirúrgicos   | 4,4/unidad                                 | Látex                      | Guantes limpios: Son utilizados para la realización de exámenes y consultas médicas y odontológicas.<br><br>Guantes estériles: Son utilizados para procedimientos de tipo quirúrgico. | 3.500                                | 0                                       | 100                      |

Teniendo en cuenta el valor por kilogramo de residuo incinerado y los ingresos y costos de tratamiento en C.I. PLASTIGOMA S.A, la siguiente gráfica compara las dos alternativas de gestión desde el punto de vista económico para las IPS.

Según la gráfica 25, el costo que deben pagar las IPS encuestadas para incinerar los 3.670 kilogramos/mes (residuos que son susceptibles de ser aprovechados), asciende a la suma de \$12.845.000 mensuales ó \$154.140.000/año.

Por otra parte, el tratamiento de estos residuos a través de C.I PLASTIGOMA S.A no tiene costo y además implica un pago por el material recolectado, es decir, las IPS recibirían \$600 por kilogramo de bolsa tipo viaflex y equipos de venoclisis y \$100 por kilogramo de guantes limpios y estériles. En otras palabras, en el caso de que las IPS separaran los residuos mencionados y los entregaran en su totalidad a la empresa recicladora, recibirían ingresos por venta de material alrededor de \$2.449.035/mes ó \$29.388.425/año, más el ahorro en costos por concepto de tratamiento.

De estas estimaciones se desprende que las IPS tendrían ahorros mensuales debido al tratamiento de los residuos de interés en C.I PLASTIGOMA S.A. de aproximadamente \$5.294.035/mes ó \$183.528.425/año.



Grafica 25. Costos y ahorros para las IPS en la gestión de los residuos de interés

## 10. CONCLUSIONES

- Las IPS censadas generan aproximadamente 6.202,7kg/mes de residuos de bolsas tipo viaflex, guantes quirúrgicos y equipos de venoclisis, cuya gestión puede realizarla C.I. PLASTIGOMA S.A., debido a que tiene la capacidad de aprovecharlos en su totalidad.
- En las IPS censadas se genera aproximadamente 40.915 kg/mes de residuos hospitalarios, que son tratados a través de la incineración, de los cuales 3.670,116 kg/mes están conformados por bolsas tipo viaflex, guantes quirúrgicos y equipos de venoclisis que tienen la posibilidad de ser aprovechados, cantidad que corresponde al 9% del total incinerado.
- La gestión a los residuos de bolsas tipo viaflex que realiza el 68% de las IPS censadas, no es el apropiado, puesto que el 100% de este residuo es dispuesto en rellenos sanitarios y/ o es incinerado. El material mencionado a excepción del que es producto de transfusiones sanguíneas, puede ser aprovechado o reciclado sin tratamientos previos de inactivación, ya que no han entrado en contacto con fluidos corporales. Esta situación puede presentarse con la mayoría de residuos que tienen la posibilidad de aprovechamiento y valorización y puede ser causada por ausencia de programas de educación ambiental y de producción más limpia al interior de las instituciones, o por inconvenientes relacionados con aspectos logísticos, como ubicación o distancia a centros recuperadores o de reciclaje.
- El proceso de inactivación con calor húmedo de los residuos hospitalarios objeto de estudio, en C.I. PLASTIGOMA S.A. debe llevarse a cabo a 140°C y 60 psi, en un tiempo de diez minutos para garantizar la mortalidad de los patógenos presentes y conservar las características que permiten o posibilitan la manipulación y reciclaje del material tratado.

- Los requerimientos energéticos para la producción de una tonelada de caucho sintético en bruto es entre un 446% y 334.5% mayor que las necesidades de energía para la regeneración de esa misma cantidad en las instalaciones de C.I PLASTIGOMA S.A, trayendo como consecuencia la emisión de un 560% más de CO<sub>2</sub> que lo que respecta a la empresa recicladora. Caso contrario sucede con la producción de caucho natural, cuya demanda de energía es un 65% menor que las exigencias para el proceso de regenerado y las emisiones de CO<sub>2</sub> corresponden al 44% de la totalidad de la compañía.
- Uno de los grandes problemas de la industria del caucho natural es la generación de aguas residuales industriales, lo cual impacta de manera negativa las fuentes de agua y representa altos costos para su depuración. Esta situación no ocurre en la empresa en cuestión y justifica desde el punto de vista económico y ambiental la regeneración del caucho, proceso en el cual interviene el látex y otros tipos de residuos peligrosos como el aceite usado.
- De igual manera, para el caso del aprovechamiento de residuos de PVC, la demanda de energía para la producción de PVC virgen es entre un 788% - 873,5% superior a las necesidades energéticas para llevar a cabo el reciclaje de este material, generando emisiones de CO<sub>2</sub> comprendidas entre un 82% - 108% del total emitido en C.I PLASTIGOMA S.A, lo que hace factible desde el punto de vista económico y ambiental las actividades de reciclaje de este tipo de residuo.
- La incineración como medida gestión de los residuos hospitalarios no es la más apropiada, debido a que se está manejando como una solución de final de tubo y va en contravía del Convenio de Estocolmo, cuya ratificación por parte del Estado Colombiano se realizó a través de la ley 1196 de 2008, la cual establece que debe considerarse alternativas como la reducción en la generación de desechos, la reutilización y el reciclado, para lograr los objetivos en la disminución de las emisiones de

compuestos orgánicos persistentes como las dioxinas y furanos, propuestos en este convenio.

- Debe resaltarse que la incineración lo que hace es convertir o transformar la contaminación representada en residuos sólidos a una contaminación atmosférica, es decir, teniendo en cuenta la ley de la conservación, principio fundamental de la termodinámica, la reacción de combustión convierte los residuos sólidos en gases que posteriormente se emiten a la atmósfera, generándose impactos ambientales negativos como el calentamiento global, lluvia ácida y problemas de salud pública aducidos a los compuestos orgánicos persistentes como las dioxinas y furanos; en otras palabras, se traslada el problema de contaminación del componente suelo al componente aire. Para el caso del horno incinerador de propiedad de la Empresa Metropolitana de Aseo, después de la operación del sistema, persiste desechos denominados cenizas, que corresponde al 8.4% del total incinerado, lo que indica que el 91.6% restante entra a contaminar el aire, en forma de gases de combustión. Las cenizas resultantes son dispuestas en el relleno sanitario, las cuales generan lixiviados con una carga considerable de metales pesados como el cromo y el selenio, que contaminan posteriormente las fuentes de agua superficiales y subterráneas.

En ese sentido, la gestión que ofrece C.I PLASTIGOMA S.A., es más beneficiosa para el medio ambiente que la incineración, puesto que los impactos ambientales negativos generados en los procesos de transformación son mínimos y fácilmente mitigables, en donde se obtienen productos de larga vida útil que presentan un servicio a la comunidad. Además, solo el 0.53% de los residuos tratados persisten como desechos que son dispuestos en el relleno sanitario, lo que indica que el 99% de los residuos llevados a C.I. PLASTIGOMA S.A. son totalmente aprovechados.

- Para las instituciones de salud es viable la implementación de medidas de separación en la fuente de los residuos objeto de estudio, puesto que

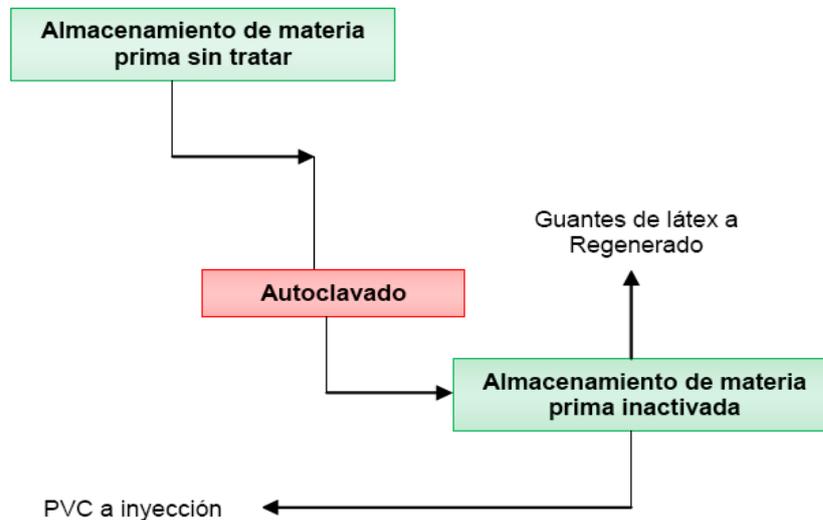
dejarían de incinerar entre un 9% -10% del total de los residuos que son tratados por este medio, reduciéndose los costos actuales de gestión y al mismo tiempo adquiriéndose ingresos por la venta de material. Estas prácticas de separación en la fuente puede ser ampliada a otro tipo de residuos hospitalarios, como es el caso de las jeringas y a su vez, puede servir para fortalecer programas ya existentes, en donde se separa y valoriza residuos como papel, plástico, cartón y vidrio, alcanzándose de esta forma una gestión integral más rigurosa de los residuos sólidos, conforme a los principios de la producción más limpia y del desarrollo sostenible.

- El tratamiento de los residuos objeto de estudio en C.I. PLASTIGOMA S.A., adicionalmente trae consigo beneficios de carácter social, puesto que la empresa genera alrededor de sesenta empleos directos más los indirectos y a diferencia de la incineración, esta alternativa de gestión propende por aportar al mantenimiento y conservación de un ambiente sano, derecho a que tiene toda la población, incluido en la Constitución Política de Colombia.

## 11. RECOMENDACIONES

- Se deben unir esfuerzos entre la Autoridad Ambiental, la academia, la Dirección Territorial de Salud del departamento de Caldas y las diferentes instituciones de salud, para la adopción o implementación de procesos de producción más limpia y de educación ambiental, resaltándose la importancia de una correcta separación en la fuente como piedra angular de la gestión integral de los residuos sólidos hospitalarios. En este aspecto debe convocarse a empresas recicladoras autorizadas o con licencia ambiental, como es el caso de C.I. PLASTIGOMA S.A., para que acompañen el proceso y garanticen la recepción de los materiales separados y que sean de su interés, de tal manera que se le de sostenibilidad a las medidas adoptadas.
- Es conveniente la búsqueda de mecanismos que faciliten la logística de recolección y transporte de los residuos hospitalarios con posibilidades de aprovechamiento y reciclaje, principalmente para aquellas instituciones de salud que están localizadas por fuera de la ciudad de Manizales. Una opción que se puede considerar es la creación de centros de transferencia ubicados en los municipios principales de cada una de las zonas o regiones identificadas en el departamento, en donde se almacene el material separado de todas las instituciones pertenecientes al área, para garantizar volúmenes o cantidades que sean factibles económicamente para su traslado a cada uno de las empresas recuperadoras y recicladoras.
- Para una adecuada separación, transporte y manipulación dentro de la empresa, de los residuos objeto de esta investigación, C.I PLASTIGOMA S.A. debe procurar el suministro de bolsas de polipropileno calibre 2 a las diferentes instituciones de salud con las que suscriba convenio de recolección. Este tipo de bolsa es resistente a altas temperaturas y son las recomendadas para llevar a cabo los procesos de inactivación.

La idea es por lo tanto, transportar los residuos separados dentro de las respectivas bolsas hacia la empresa recicladora e identificar un punto o área al interior de la compañía para el almacenamiento temporal de la materia prima.



**Diagrama 10. Flujo de residuos dentro de la etapa de inactivación**

Como se observa en el diagrama 10, las zonas de almacenamiento antes y después de la inactivación debe estar por separado para evitar contaminación cruzada.

- Es importante hacer hincapié en que por ningún motivo se debe abrir las bolsas, ni manipular los residuos antes del tratamiento con calor húmedo; estas deben ser introducidas a la autoclave conforme fueron recibidas desde las instituciones de salud, para lo cual los operarios encargados deben contar con la indumentaria de seguridad constituida por tapabocas, gafas, guantes de caucho, botas antideslizantes y overol. Además, éstos deben contar con vacunas contra enfermedades como la hepatitis B, tétanos y la tuberculosis.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- ALLSOPP Michelle, INCINERATION AND HUMAN HEALTH. 2002. [En línea]. [Consultado el 12 de abril de 2009]. Disponible en <http://www.umanotera.org/upload/files/euincin.pdf>.
- ANIQ. Estudio Estratégico Ciclo de Vida del PVC. Resumen Ejecutivo. 2006. [En línea]. [Consultado el 14 de marzo de 2009]. Disponible en <http://www.aniq.org.mx/estudios/CiclodeVidaPVC.pdf>.
- BARRIONUEVO GIMÉNEZ Rafael. Manual de Gestión para Residuos de Centros Hospitalarios. Universidad de Vigo 2004. En línea. [Consultado el 13 de julio de 2008]. Disponible [http://www.giresol.org/index2.php?option=com\\_docman](http://www.giresol.org/index2.php?option=com_docman)
- BEILEN Jan Van. Alternative Sources Of Natural Rubber. 2006. [En línea]. [Consultado el 20 de febrero de 2009]. Disponible [http://www.epobio.net/pdfs/0611NaturalRubberReport\\_c.pdf](http://www.epobio.net/pdfs/0611NaturalRubberReport_c.pdf)
- BELLIVEAU Michael E. DIOXIN POLLUTION PREVENTION AND PVC PLASTIC IN MUNICIPAL SOLID WASTE: PRECAUTIONARY POLICY. [En línea]. [Consultado el 10 de Agosto de 2008]. Disponible en [http://www.burnbarrel.org/Science/Dioxin2003\\_papers/MBelliveau723.pdf](http://www.burnbarrel.org/Science/Dioxin2003_papers/MBelliveau723.pdf).
- BJÖRKLUND Anna. Environmental Assessment of a Waste Incineration Tax. 2003. [En línea]. [Consultado el 11 noviembre de 2008]. Disponible en [http://www.infra.kth.se/.../fms-r-184\\_env\\_ass\\_waste\\_incin\\_tax-bjorklund-mfl.pdf](http://www.infra.kth.se/.../fms-r-184_env_ass_waste_incin_tax-bjorklund-mfl.pdf)
- BRION Jorge. Manejo de Residuos Patogénicos. CEAMSE. 1998. [En línea]. [Consultado el 8 de agosto de 2008]. Disponible <http://www.ceamse.gov.ar>

- BYEONG KYU Lee. A study of the characterization, disposal, recycling, and air emissions of medical and plastic wastes. Lowell de University of Massachussets. 1996, 184 páginas. [En línea]. [Consultado el 13 de agosto de 2008]. Disponible en <http://www.proquest.umi.com>.
- CAMP FUSTER Gerad. Análisis de Flujos y Substancias: Una herramienta aplicada a la evaluación de riesgos por dioxinas en la provincia de Tarragona. Tesis Doctoral. Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud. Universidad Rovira I Virgili. Tarragona, 2002. [En línea]. [Consultado el 10 de septiembre de 2008]. Disponible en [http://http://www.tesisenxarxa.net/TESIS\\_URV/AVAILABLE/TDX-0606103-090636/](http://http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_URV/AVAILABLE/TDX-0606103-090636/).
- CSN. Manual de procedimientos técnicos. Funcionamiento de los cambiadores de calor y del sumidero final de calor. 2005. [En línea]. [Consultado el 10 de enero de 2009]. Disponible en <http://www.csn.es/sisc/idb/pdfs/pt04206.pdf>
- DONOVAN Louise. Hospital finds winning waste reduction formula. BioCycle. Emmaus: Jan 1999. Vol. 40, Iss. 1; pg. 47, 3 pgs. [En línea]. [Consultado el 5 de agosto de 2008]. Disponible en <http://www.proquest.umi.com>.
- EMISON. Filtros Mangas. 2008. [En línea]. [Consultado el 20 de febrero de 2009]. Disponible en <http://www.emison.es/medio-ambiente/pdf/.../filtro%20de%20mangas.pdf> –
- EPOBIO. Alternative Sources of Natural Rubber. 2006. En línea]. [Consultado el 23 de septiembre de 2008]. Disponible en [http://www.epobio.net/pdfs/0611NaturalRubberReport\\_c.pdf](http://www.epobio.net/pdfs/0611NaturalRubberReport_c.pdf) –
- EPA. La Producción Más Limpia. [En línea]. [Consultado el 15 de septiembre de 2008]. Disponible en

[http://www.epa.qld.gov.au/environmental\\_management/sustainability/industry/cleaner\\_production/](http://www.epa.qld.gov.au/environmental_management/sustainability/industry/cleaner_production/)

- EUROPEAN COMMISSION. A cleaner, greener Europe, Life and the European Union waste policy. Hospital Plastic Waste Recycling. Bruselas: 2004. [En línea]. [Consultado el 10 de agosto de 2008]. Disponible en [http://ec.europa.eu/.../lifepublications/lifefocus/documents/waste\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/.../lifepublications/lifefocus/documents/waste_en.pdf)
- FORD Tom. Clinic part of project to recycle medical plastics, Crain's Cleveland Business. Cleveland: Septiembre 8, 1997. Tomo 18, N° 36; pg. 16. [En línea]. [Consultado el 20 de septiembre de 2008]. Disponible en <http://www.proquest.umi.com>.
- FUSTER CAMP Gerard. Análisis de Flujos de Substancias: una Herramienta Aplicada a la Evaluación de Riesgos por Dioxinas en la Provincia de Tarragona. Tesis Doctoral. 2002. [En línea]. [Consultado el 8 noviembre de 2008]. Disponible en <http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0606103-090636/>
- GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES. Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares. Manual de Procedimientos. Versión 2006. p 8
- HOOFF van Bart y SAER Alex. Introducción a la Producción más Limpia. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial. Bogotá 2004.
- KIELY Gerard. Ingeniería Ambiental; Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión vol. II. Madrid: Editorial Mc Graw Hill, 1999. p 456.

- KENNEDY Edward M. Finding the Rx for Managing Medical Wastes. 2000. [En línea]. [Consultado el 11 de enero de 2009]. Disponible <http://www.fas.org/ota/reports/9018.pdf>
- LIAMSANGUAN Chalita y GHEEWALA Shabbir. LCA: A decision support tool for environmental assessment of MSW management systems. 2008. [En línea]. [Consultado el 20 julio de 2009]. Disponible en <http://www.linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479707000242>
- MAHLMEISTER M. E. Designing a Scrubber for Maintenance. 2005. [En línea]. [Consultado el 6 de febrero de 2009]. Disponible en <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/463544-FTB8Fy/.../463544.pdf>
- MARTINEZ DE BASCARN. Riesgos y Efectos Producidos por las Dioxinas. 2000. [En línea]. [Consultado el 18 octubre de 2008]. Disponible en <http://www.cepis.org.pe/bvsci/fulltext/riesgos.pdf>
- MEDINA TORRES Clara Stella. Selección y Uso de Desinfectantes. Noviembre de 2003. [En línea]. [Consultado el 22 de septiembre de 2008]. Disponible en <http://www.acercar.org.co/industria/biblioteca/eventos/fase6/ips/23032006/04.pdf>.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Guías Ambientales Sector Plásticos. Bogotá. 2004. p 15.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Guías Ambientales Sector Plásticos. Bogotá. 2004. p 15.
- MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL. Dirección General de Promoción y Prevención Programa Nacional de Prevención y Control de las ETS/VIH/SIDA. Conductas Básicas en Bioseguridad: Manejo Integral. Protocolo Básico para el Equipo de Salud. Santafé de Bogotá. 1997. p 8.

- MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL y MINISTERIO MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares en Colombia. Manual de Procedimientos. Bogotá. 2002. p 50.
- MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares. Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares para Pequeños Generadores. Versión 1 2007. p 28 a 33.
- MISSION COLLEGE. Control of Microbial Growth. 2009. [En línea]. [Consultado el 8 de abril de 2009]. Disponible <http://www.lamission.edu/lifesciences/lecturenote/.../Chap07Control.pdf>
- NATARAJ Gita, BAVEJA Sujata, KUYARE Sunil y POOJARY Aruna. Report: Medical students for monitoring biomedical waste segregation practices - why and how? Experience from a medical college. Waste Management & Research. Londres: Junio de 2008. Tomo 26, N° 3; pg. 288. [En línea]. [Consultado el 20 de agosto de 2008]. Disponible en <http://www.proquest.umi.com>
- NHMRC. National Guidelines Waste Management in the Health Care Industry. 2008 . [En línea]. [Consultado el 10 de marzo de 2009]. Disponible <http://www.nhmrc.gov.au/PUBLICATIONS/synopses/.../eh1.pdf>
- NOHARM. Low-Heat Technologies: Autoclaves, Microwaves, and Other Steam-Based Systems. 2007. [En línea]. [Consultado el 8 de abril de 2009]. Disponible [http://www.noharm.org/.../Non-Incineration\\_Medical\\_Waste\\_Treatment\\_Te\\_7.pdf](http://www.noharm.org/.../Non-Incineration_Medical_Waste_Treatment_Te_7.pdf)

- PASK-HUGHES Rosemary. Extremely Thermophilic Gram-negative Bacteria from Hot Tap Water. Journal of General Microbiology London: 1975. [En línea]. [Consultado el 26 de agosto de 2008]. Disponible en [http:// http://mic.sgmjournals.org/cgi/content/abstract/88/2/321](http://mic.sgmjournals.org/cgi/content/abstract/88/2/321).
- PROCURADURIA GENERAL DE LA NACIÓN. Municipios no tienen planes de gestión integral de residuos hospitalarios, reveló la Procuraduría. [En línea]. [Consultado el 17 de Agosto de 2008]. Disponible en [http://www.procuraduria.gov.co/html/noticias\\_2008/noticias\\_324.html](http://www.procuraduria.gov.co/html/noticias_2008/noticias_324.html)
- PETUNCHI Juan O. PROCESOS DE COMBUSTION PARA LA ELIMINACION DE RESIDUOS PELIGROSOS. 2000. [En línea]. [Consultado el 15 de junio de 2009]. Disponible en <http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias2001/C1-305.pdf>
- PIRNIE Malcom. Greenhouse Gas Inventory and Product Life Cycle Analysis – Phase 2007. [En línea]. [Consultado el 14 de mayo de 2009]. Disponible <http://www.arb.ca.gov/research/seminars/horvath/horvath.pdf>
- PLASTIC EUROPE. Environmental Product Declarations of the European Plastics Industry. 2008. [En línea]. [Consultado el 20 de junio de 2009]. Disponible en [http:// www.pvc.org/Media-Centre/.../EPDE-PVC](http://www.pvc.org/Media-Centre/.../EPDE-PVC)
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. Conferencia de las Partes en el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes. Primera reunión. Uruguay 2005. [En línea]. [Consultado el 22 de abril de 2009]. Disponible [http:// www.chm.pops.int/Portals/0/.../UNEP-POPS-COP.4-12.Spanish.PDF](http://www.chm.pops.int/Portals/0/.../UNEP-POPS-COP.4-12.Spanish.PDF)
- RUTALA William A. Infection Control and Hospital Epidemiology. Medical Waste. Memphis: Enero de 1992. Vol 13, No 1. [En línea]. [Consultado el 10 de agosto de 2008]. Disponible en <http://www.proquest.umi.com>.

- SAINI Savita, K DAS Bimal, KAPIL Arti, NAGARAJAN Shyama S y SARMA RK. Department of Pediatrics, Department of Microbiology and Department of Hospital Administration. All India Institute of Medical Sciences. The study of bacterial flora of different types in hospital waste: evaluation of waste treatment at Aiims Hospital New Delhi. New Delhi: Diciembre de 2004. Vol 35, No 4. [En línea] [Consultado el 5 de septiembre de 2008]. Disponible en [http://www.tm.mahidol.ac.th/seameo/2004\\_35\\_4/37-3303.pdf](http://www.tm.mahidol.ac.th/seameo/2004_35_4/37-3303.pdf)
- SATHIENDRAKUMAR, R.. Sustainable development: passing fad or potential reality? International Journal of Social Economics. Bradford: 1996. Tomo 23, N° 4/5/6; pg. 151. [En línea]. [Consultado el 15 de septiembre de 2008]. Disponible en <http://www.proquest.umi.com>.
- SRISHTI. Hospital Waste, Time to Act. New Delhi: Junio de 2002. [En línea]. [Consultado el 29 de septiembre de 2008]. Disponible en [http://www.sanipak.com/pdf/mwm-november\\_05.pdf](http://www.sanipak.com/pdf/mwm-november_05.pdf).
- TEKASAKUL Surajit. Environmental Problems Related to Natural Rubber Production in Thailand. 2006. [En línea]. [Consultado el 20 de febrero de 2009]. Disponible [http://www.jstage.jst.go.jp/article/jar/21/2/21\\_122/\\_article](http://www.jstage.jst.go.jp/article/jar/21/2/21_122/_article)
- UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE. Acción de los Agentes Físicos Sobre las Bacterias. Buenos Aires: 1998. [En línea]. [Consultado el 25 de septiembre de 2008]. Disponible [http://www.fai.unne.edu.ar/biologia/microgeneral/micro-ianez/17\\_micro.htm](http://www.fai.unne.edu.ar/biologia/microgeneral/micro-ianez/17_micro.htm) - 68k c.
- VÂNIA Chibante. Dry scrubbing of acid gases in recirculating cyclones. Elsevier 2007. [En línea]. [Consultado el 13 de mayo de 2009]. Disponible en <http://www.linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304389407001628>

- WACKERLY Dennis, W Mendenhall y SCHEAFFER Richard. Estadística Matemática con Aplicaciones. Thomson editores, sexta edición. 2002.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. A Report on Alternative Treatment and Non-Burn Disposal Practices. 2005. [En línea]. [Consultado el 7 de agosto de 2009]. Disponible [http://www.searo.who.int/linkfiles/sde\\_sde\\_mgmt-bio-medical-obj.pdf](http://www.searo.who.int/linkfiles/sde_sde_mgmt-bio-medical-obj.pdf)