Maestría en Ingeniería Civil

Análisis de la viabilidad del aprovechamiento del acero proveniente de los residuos cortopunzantes en la ciudad de Bogotá

David Ricardo López Guzmán

Bogotá, D.C., 2017

Escuela Colombiana de Ingeniería
Julio Garavito

Análisis de la viabilidad del aprovechamiento del acero proveniente de los residuos cortopunzantes en la ciudad de Bogotá

Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en Ingeniería Ambiental

María Carolina Romero Pereira

Directora

Bogotá, D.C., 2017

Escuela Colombiana de Ingeniería
Julio Garavito

La tesis de maestría titulada “Análisis de la viabilidad del aprovechamiento del acero proveniente de los residuos cortopunzantes en la ciudad de Bogotá”, presentada por David Ricardo López Guzmán, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Ambiental.

Directora de la tesis

María Carolina Romero Pereira

Jurado

María Paulina Villegas de Brigard

Jurado

Héctor Matamoros Rodríguez

Bogotá, D.C., 31 de enero de 2017

Agradecimientos

Agradezco a mi familia, cuyo apoyo y amor hicieron posible superar las dificultades presentadas durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

Agradezco igualmente a la ingeniera María Carolina Romero de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, cuyos valiosos aportes y orientación en calidad de directora de este trabajo de grado fueron determinantes para lograr su éxito.

Quiero agradecer igualmente a los ingenieros, Alberto Uribe de la Escuela de Administración de Negocios (EAN), Carmenza Robayo de la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ), John Bonilla de TECNIAMSA S.A. E.S.P., Diego Escobar del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), David Moreno de ECOCAPITAL S.A. E.S.P., Gerson Rodríguez de INERCO, Jaime Lozano de la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP), Alexandra Martín de METACOL y Paola Lancheros de Internacional de Maquinaria y Proyectos S.A.S. (IMAPROK), cuya colaboración en la información suministrada hizo posible la elaboración de este trabajo.

Índice general

1 PROBLEMA 1

2 OBJETIVOS 4

3 MARCO DE REFERENCIA 5

3.1 Residuos Hospitalarios y Similares (RHS) 5

3.2 Propiedades del acero de los residuos cortopunzantes 8

3.3 Tipos de tratamiento para residuos hospitalarios y similares 9

3.3.1 Tratamiento químico 10

3.3.2 Tratamiento por irradiación 14

3.3.3 Tratamiento mecánico 14

3.3.4 Tratamiento térmico 15

3.3.5 Tratamiento por incandescencia 17

3.4 Equipos utilizados en el tratamiento de RHS 18

3.4.1 Autoclave 18

3.4.2 Incinerador 22

3.4.3 Sistema de microondas continua 24

3.4.4 Hidrolisis Alcalina 26

3.4.5 Antorcha de plasma (arco voltaico o eléctrico) 28

3.5 Ventajas y desventajas de los tipos de tratamiento para RHS 29

4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA GIRHS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ 31

4.1 Generación y composición de RHS en Bogotá 32

4.2 Disposición final de los RHS de Bogotá 35

4.3 Estimación de acero contenido en los RHS en Bogotá 35

5 MARCO NORMATIVO DE LA GIRHS EN BOGOTÁ 43

5.1 Lineamientos de la recolección y transporte 46

5.2 Lineamientos técnicos del tratamiento y/o aprovechamiento 48

5.3 Lineamientos técnicos de la disposición final 52

6 REVISIÓN DE TECNOLOGÍAS Y EQUIPOS DISPONIBLES EN COLOMBIA 53

6.1 Desactivación de Alta Eficiencia o Esterilización 53

6.2 Recolección y/o transporte 54

6.3 Separación 56

6.4 Aprovechamiento..... 61

7 VIABILIDAD DEL APROVECHAMIENTO DEL ACERO DE LOS RHS EN BOGOTÁ 63

7.1 Análisis del marco normativo para el aprovechamiento 63

7.2 Selección de una alternativa de aprovechamiento..... 67

7.3 Estimación de costos actuales de la gestión de RHS en Bogotá 68

7.4 Estimación de costos de la alternativa de aprovechamiento propuesta 78

8. DISCUSIÓN 84

9. CONCLUSIONES.....86

10. RECOMENDACIONES 88

11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....89

Índice de tablas

Tabla 1. Composición del acero inoxidable con especificaciones AISI 304 y AISI 316 8

Tabla 2. Especificaciones de temperatura y tiempo de contacto propuestas por diferentes autores..... 20

Tabla 3. Ventajas y desventajas de los tipos de tratamiento de RHS 30

Tabla 4. Generación de residuos cortopunzantes entre el año 2010 y el año 2014 por los establecimientos vigilados por la SDS de Bogotá 32

Tabla 5. Residuos cortopunzantes sometidos a tratamiento por termodestrucción entre el año 2012 y 2016, según reportes..... 33

Tabla 6. Composición porcentual de elementos gasificados durante la termodestrucción de RHS 33

Tabla 7. Cantidad anual de RHS tratados por termodestrucción en PROSARC y TECNIAMSA, desde al año 2012 al 2016 34

Tabla 8. RHS de ECOCAPITAL incinerados por PROSARC y cenizas generadas en los años 2013 y 2014 34

Tabla 9. Cantidad de residuos cortopunzantes de acero y vidrio generados entre los años 2010 y 2013..... 36

Tabla 10. Cantidad de cenizas generadas en el proceso de termodestrucción de RHS entre los años 2012 y 2016..... 36

Tabla 11. Cantidad de acero y vidrio de los RHS de Bogotá dispuestos en celda de seguridad entre los años 2012 y 2016 37

Tabla 12. Peso específico de los residuos según el componente 39

Tabla 13. Estimación de la cantidad de acero dispuesto en la celda de seguridad del PTALS entre los años 2012 y 2016..... 40

Tabla 14. Estimación de acero de residuos cortopunzantes dispuestos en celda de seguridad del RSDJ en el año 2013..... 40

Tabla 15. Especificaciones técnicas de los vehículos transportadores de RHS ... 47

Tabla 16. Tipos de desactivación o esterilización 49

Tabla 17. Especificaciones de operación y mantenimiento para el tratamiento y/o aprovechamiento de residuos cortopunzantes 50

Tabla 18. Estándares máximos de microorganismos 52

Tabla 19. Especificaciones técnicas del equipo autoclave de ECOCAPITAL 53

Tabla 20. Especificaciones de los vehículos de ECOCAPITAL para recolección de RHS 55

Tabla 21. Especificaciones técnicas de equipos Ecosteryl 60

Tabla 22. Escenarios 68

Tabla 23. Especificaciones de equipos disponibles para termodestrucción de los RHS generados en Bogotá 68

Tabla 24. Registro de termodestrucción de RHS de Bogotá entre marzo de 2012 y abril de 2016 69

Tabla 25. Consumo y costos estimados del combustible usado en la termodestrucción de RHS 71

Tabla 26. Costos de operación directos del tratamiento actual de RHS de Bogotá 77

Tabla 27. Análisis comparativo entre el escenario actual y la alternativa propuesta 82

Índice de imágenes

Imagen 1. Cenizas extraídas de la cámara de combustión del proceso de termodestrucción 1

Imagen 2. Incinerador pirolítico de doble cámara 2

Imagen 3. Esterilización en autoclave de calor húmedo 18

Imagen 4. Incineración o termodestrucción controlada 22

Imagen 5. Digestor para Hidrólisis Alcalina. Modelo BE 96-100-10000 27

Imagen 6. Hornos de inducción de METACOL 62

Imagen 7. Planta de aprovechamiento de metales de SIDENAL 63

Imagen 8. Recipiente plástico para segregación de residuos cortopunzantes 65

Imagen 9. Recipiente de cartón para segregación de residuos cortopunzantes ... 65

Índice de figuras

Figura 1. Sistema de microondas continuo 24

Figura 2. Tratamiento de RHS por antorcha de plasma 29

Figura 3. Balance de masa de residuos cortopunzantes generados en los ESS de Bogota en el año 2013 42

Figura 4. Rotulación de los residuos cortopunzantes 44

Figura 5. Proceso Ecosteryl 57

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Estimación de cantidad de vidrio y acero en residuos cortopunzantes 36

Ecuación 2. Volumen de residuos cortopunzantes almacenados en el guardián .. 38

Ecuación 3. Estimación del volumen de residuos cortopunzantes almacenados en el guardián a partir de su masa y peso específico 38

Ecuación 4. Estimación del consumo de combustible para la incineración de RHS 70

Ecuación 5. Estimación de costos asociados al consumo de combustible en los equipos de termodestrucción 71

Ecuación 6. Distancia recorrida para transportar RHS al lugar de tratamiento y disposición final 72

Ecuación 7. Consumo total de combustible para transportar los RHS al lugar de tratamiento y disposición final 73

Ecuación 8. Costo de combustible para transportar los RHS al lugar de tratamiento y disposición final 73

Ecuación 9. Estimación de costos de disposicipon final de RHS 77

Ecuación 10. Estimación de costos de disposicipon final de RHS 79

Ecuación 11. Estimación del consumo total de energia eléctrica en el tratamiento y separacion de RHS 79

Ecuación 12. Costo de energía eléctrica consumida para el tratamiento y separación de los RHS 80

Ecuación 13. Estimación del personal requerido para el tratamiento y transporte de RHS..... 80

Ecuación 14. Costo de personal para el tratamiento y separación de los RHS..... 81

Índice de anexos

Anexo 1. Matriz de normatividad vigente aplicable a la GIRHS en Bogotá 96

Anexo 2. Clasificación de los RHS (color de recipientes y rótulos) 102

Anexo 3. Prescripciones para la segregación en el transporte de RHS 104

GLOSARIO

Aprovechamiento y/o valorización: proceso de recuperar de valor remanente o el poder calorífico que componen los residuos o desechos peligrosos, por medio de la recuperación, reciclado o la regeneración Artículo 2.2.6.1.1.3 del Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015.

Bulto: producto final de la operación de embalar/envasar, constituido por el conjunto del embalaje/envase y su contenido, preparado para el transporte (numeral 2 de la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4702-6 de 1999).

Desinfección: proceso que permite reducir el número de microorganismos a niveles menos peligrosos, aunque generalmente no elimina las esporas (numeral 7.1 del manual para el manejo de desechos en establecimientos de salud de la Organización Mundial de la salud (OMS) de1998)

Embalaje/envase: receptáculo y todos los demás componentes necesarios para que el receptáculo desempeñe su función. (Numeral 2 de la NTC 4702-6 de 1999).

Embalaje/envase combinado: combinación de embalajes/envases para fines de transporte, constituida por uno o varios embalajes/envases interiores sujetos dentro de una embalaje/envase exterior. (Numeral 2 de la NTC 4702-6 de 1999).

Embalaje/envase interior: embalaje/envase que ha de ir provisto de una embalaje/envase exterior para su transporte. (Numeral 2 de la NTC 4702-6 de 1999).

Embalaje/envase exterior: protección exterior de un embalaje/envase compuesto o de una embalaje/envase combinado, junto con los materiales absorbentes, los materiales amortiguadores y todos los demás componentes necesarios para contener y proteger los receptáculos interiores los embalajes/envases interiores. (Numeral 2 de la NTC 4702-6 de 1999).

Esterilización: proceso que elimina a todos los microorganismos, incluyendo esporas (numeral 7.1 del manual para el manejo de desechos en establecimientos de salud de la OMS, 1998).

Incineración o termodestrucción: proceso de oxidación térmica que convierte la fracción combustible de los residuos en gases y un residuo inerte que debe ser dispuesto de manera adecuada (numeral 8.1.6 de la resolución 1164 de 2002).

Peso específico: relación entre el peso y el volumen normalmente expresado en kilógramos por metro cúbico (kg/m^3) o toneladas por metro cúbico (ton/m^3).

Receptáculo: recipiente de contención destinado a recibir y contener sustancias o artículos, incluido cualquier dispositivo de cierre que lleve. (Numeral 2 de la NTC 4702-6 de 1999).

Residuo o desecho: cualquier objeto, material, sustancia, elemento o producto que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o de pósitos, cuyo generador descarta, rechaza o entrega porque sus propiedades no permiten usarlo nuevamente en la actividad que lo generó o porque la legislación o la normatividad vigente así lo estipula (Artículo 2.2.6.1.1.3 del Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015)

Residuos anatomopatológicos: aquellos residuos como partes del cuerpo, muestras de órganos, tejidos o líquidos humanos, generados con ocasión de la realización de necropsias, procedimientos médicos, remoción quirúrgica, análisis de patología, toma de biopsias o como resultado de la obtención de muestras biológicas para análisis químico, microbiológico, citológico o histológico (Decreto 351 de 2014 de 2014).

Residuos biosanitarios: aquellos elementos o instrumentos utilizados y descartados durante la ejecución de las actividades señaladas en el artículo 2 de este decreto que tienen contacto con fluidos corporales de alto riesgo, tales como: gasas, apósitos, aplicadores, algodones, drenes, vendajes, mechas, guantes, bolsas para transfusiones sanguíneas, catéteres, sondas, sistemas cerrados y

abiertos de drenajes, medios de cultivo o cualquier otro elemento desechable que la tecnología médica introduzca (Decreto 351 de 2014 de 2014).

Residuos cortopunzantes: aquellos que por sus características punzantes o cortantes pueden ocasionar un accidente, entre éstos se encuentran: limas, lancetas, cuchillas, agujas, restos de ampolletas, pipetas, hojas de bisturí, vidrio o material de laboratorio como tubos capilares, de ensayo, tubos para toma de muestra, láminas portaobjetos y laminillas cubreobjetos, aplicadores, citocepillos, cristalería entera o rota, entre otros (Decreto 351 de 2014).

Residuos de animales: aquellos residuos provenientes de animales de experimentación, inoculados con microorganismos patógenos o de animales portadores de enfermedades infectocontagiosas. Se incluyen en esta categoría los decomisos no aprovechables generados en las plantas de beneficio (Decreto 351 de 2014).

Residuos infecciosos o de riesgo biológico: aquellos que contienen agentes patógenos, como microorganismos y otros agentes con suficiente virulencia y concentración como para causar enfermedades en los seres humanos o en los animales. (Decreto 351 de 2014).

Residuos peligrosos (RESPEL): aquellos que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas, pueden causar riesgos, daños o efectos no deseados a la salud humana y el ambiente (Artículo 2.2.6.1.1.3 del decreto 1076 de 2015).

Segregación: es la operación consistente en separar manual o mecánicamente los residuos hospitalarios y similares en el momento de su generación (Decreto 2676 de 2000).

Tratamiento: conjunto de o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos o teniendo en cuenta el y grado de peligrosidad los mismos, para incrementar sus posibilidades de aprovechamiento y/o valorización o

para minimizar los riesgos para la salud humana (Artículo 2.2.6.1.1.3 del decreto 1076 de 2015).

Valor Límite Umbral (TLV) (en inglés *Threshold Limit Value*): valor límite para exposiciones de 8 horas al día y 40 horas (Capítulo de TLV de Sustancias Químicas de las directrices TLV/BEI la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) (en inglés *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*), 2012).

Valor Límite Umbral – Límite de Exposición a Corto Plazo (TLV - STEL) (en inglés TLV - *Short Term Exposure Limit*): concentración promediada para períodos de 15 minutos (si no se especifica otro período de tiempo) que no debe superarse en ningún momento de la jornada laboral (Capítulo de TLV de Sustancias Químicas de las directrices TLV/BEI de la ACGIH, 2012).

Valor Límite Umbral – Media Ponderada en el Tiempo (TLV - TWA) (en inglés TLV - *Time Weighted Average*): concentración promedio ponderada para 8 horas que no deberá ser superada en ningún turno de 8 horas para semanas laborales de 40 horas (Capítulo de TLV de Sustancias Químicas de las directrices TLV/BEI de la ACGIH, 2012).

Valor Límite Umbral – Techo (TLV - C) (en inglés *TLV - Ceiling*): concentración que no deben ser superados en ningún momento de la jornada laboral. Éstos pueden ser determinados como valores promediados para períodos de 15 minutos en los casos en que no sea factible una medida instantánea (Capítulo de TLV de Sustancias Químicas de las directrices TLV/BEI de la ACGIH, 2012).

TABLA DE UNIDADES DE MEDICIÓN

Magnitud	Unidad	Símbolo
Longitud	Kilómetro	km
Área	Hectárea	Ha
Volumen	Metro cúbico	m^3
	Litro	L
	Galón	gal
Masa	Kilogramo	kg
	Tonelada	ton
Fuerza	Newton	N
Energía	Kilovatio hora	kWh
	Unidad Térmica Británica	BTU
Potencia	Kilovatio	kW
	Megavatio	MW
	Caballo de Fuerza de Caldera	BHP
Tiempo	Hora	h
	Minuto	min
	Día	día
Frecuencia	MegaHertz	MHz
Temperaura	Grado Celsius	°C
Presión	Milímetro de Mercurio	mmHg
Concentración	Parte por Millón	ppm
	Miligramo por Metro Cúbico	mg/m^3

RESUMEN

Se analizó la viabilidad de recuperar el acero contenido en los residuos cortopunzantes generados en Bogotá, específicamente los generados en los Establecimientos de Servicios de Salud o Similares vigilados por la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá. Lo anterior se realizó a partir del anáisis de patrones de generación, normatividad aplicable y de las tecnologías actuales de procesamiento y tratamiento disponibles en Colombia. Se realizó una comparación de costos entre la gestión actual y un esquema propuesto para el aprovechamiento del acero contenido en los residuos de objetos cortopunzantes en Bogotá.

Con el potencial de extender la vida útil de los rellenos sanitarios junto con posibles beneficios económicos, se previó que es viable aprovechar el acero contenido en los residuos cortopunzantes generados en la ciudad de Bogotá.

Palabras clave: Viabilidad, residuos cortopunzantes, tratamiento, aprovechamiento, gestión de residuos.

ABSTRACT

The feasibility of recovering the steel contained in sharps waste in Bogotá was analysed, specifically those generated in Health Services or similar establishments supervised by the District Department of Health of Bogotá. This was done by analyzing production patterns, regulations and current processing and treatment technologies available in Colombia. A cost comparison was made including current management and a proposed scheme for recovering the steel contained in sharps waste in Bogotá.

With the potential of extending the lifespan of the landfill along with possible economical benefits, it was envisaged that it is feasible to recover the steel contained in sharps waste in Bogotá.

Keywords: Viability, sharps waste, treatment, utilization, waste management.

1 PROBLEMA

De acuerdo con cifras del operador ECOCAPITAL S.A. E.S.P. (En adelante ECOCAPITAL), se estima que en Bogotá en el año 2013 se trataron cerca de 10.246 ton de residuos sólidos con riesgo biológico o infeccioso, de los cuales 1.640 ton (i.e. 16%)[1] se sometieron a termodestrucción; el 84% restante[2] (i.e. 8.606 ton) fue tratado mediante desactivación de alta eficiencia o esterilización en las instalaciones de este operador.

El 6,5% de los residuos de riesgo biológico tratados por termodestrucción (i.e. 106,7 ton para el año 2013) son de tipo cortopunzante y sus cenizas son dispuestas en un relleno de seguridad localizado en el Parque Tecnológico Ambiental de La Sabana (PTALS) del municipio de Mosquera que es operado por la empresa TECNIAMSA S.A. E.S.P., mientras que los demás residuos cortopunzantes se están tratando mediante desactivación de alta eficiencia junto con los biosanitarios y luego se disponen en una celda de seguridad del Relleno Sanitario de Doña Juana (RSDJ) operado actualmente por el Centro de Gerenciamiento de Residuos (CGR) Doña Juana S.A. E.S.P.

Una vez incinerados los residuos cortopunzantes, parte de éstos permanece en fase sólida (Ver Imagen 1). Esta fracción -compuesta por elementos metálicos tales como agujas, limas, escalpelos y lancetas- queda adherida a las cenizas que se extraen de la cámara de combustión de los incineradores empleados para este tipo de tratamiento (Imagen 2), dificultando su separación y posterior aprovechamiento. Es importante tener en cuenta que estos elementos en su mayoría están hechos de acero[3] y que después de ser sometidos a temperaturas superiores a los 850 °C, las cenizas ya no presentan peligrosidad por riesgo biológico según los resultados de las pruebas de patogenicidad aplicadas a las cenizas[4].

Imagen 1. Cenizas extraídas de la cámara de combustión del proceso de termodestrucción

[1] ECOCAPITAL S.A. E.S.P. Ambiental. Recuperado el 19 de enero de 2016, del sitio Web de ECOCAPITAL: http://www.ecocapital-int.com/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=119.DS.
[2] ECOCAPITAL S.A. E.S.P. ECOCAPITAL [diapositivas]. Bogotá: ECOCAPITAL S.A. E.S.P. 51 dispositivas, color.
[3] Acero inoxidable tipo American Iron and Steel Institute (AISI) 304 y 316.
[4] INSTITUTO DE HIGIENE AMBIENTAL LTDA. (IHALTDA). Informe de caracterización de residuos: Ceniza – Prueba CRETIP/TCLP ECOCAPITAL. Bogotá: IHALTDA. 2010.

Fuente: El autor (2016)

Imagen 2. Incinerador pirolítico de doble cámara

Fuente: TECNIAMSA S.A. E.S.P.. Plantas de Incineración. Recuperado el 13 de junio de 2015, del sitio Web de TECNIAMSA S.A. E.S.P.: http://www.tecniamsa.com/index.php?option=com_galeria_tecniamsa&view=galeria&Itemid=106

De esta forma, en el sitio de disposición final de este tipo de residuos (i.e. celdas de seguridad del RSDJ y PTALS para el caso de la ciudad de Bogotá) se está disponiendo material que podría reciclarse, contrarrestar los costos de tratamiento requeridos y probablemente alargar la vida útil de la celdas destinadas a la disposición de estas cenizas.

Lo anterior sugiere analizar si es viable o no el aprovechamiento del acero que contienen los residuos cortopunzantes generados en la ciudad de Bogotá, teniendo

en cuenta la normatividad vigente y la existencia de otras alternativas de tratamiento y segregación en la fuente por parte de los establecimientos vigilados por la SDS, tales como hospitales, veterinarias, laboratorios clínicos y centros de servicios de estética, entre otros.

2 OBJETIVOS

Objetivo general:

Analizar la viabilidad del aprovechamiento del acero que contienen los residuos cortopunzantes generados por los Establecimientos de Servicios de Salud o Similares vigilados por la SDS de Bogotá, teniendo en cuenta la normatividad vigente, alternativas de tratamiento y segregación en la fuente y tecnologías para su reciclaje.

Objetivos específicos:

- Realizar un diagnóstico sobre la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares (GIRHS) en Bogotá.
- Analizar la normatividad aplicable a la GIRHS en Bogotá.
- Realizar un diagnóstico sobre las tecnologías disponibles en Bogotá para reciclar el acero que contienen los residuos cortopunzantes.
- Identificar y evaluar alternativas para el aprovechamiento del acero de los residuos cortopunzantes generados en Bogotá.

3 MARCO DE REFERENCIA

Este capítulo comprende los conceptos técnicos definidos por organizaciones e instituciones oficiales a nivel nacional e internacional sobre la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares (GIRHS), la cual para el desarrollo de este trabajo se entenderá como aquella gestión realizada en las etapas de generación en la fuente, recolección y/o transporte, tratamiento y/o aprovechamiento y disposición final de RHS.

A continuación se presenta la descripción de las propiedades de los residuos cortopunzantes derivados de la prestación de servicios de salud y establecimientos similares, seguido de la descripción de las diferentes tecnologías utilizadas para el tratamiento de estos residuos.

3.1 Residuos Hospitalarios y Similares (RHS)

De acuerdo con la reglamentación aplicable vigente, en la ciudad de Bogotá se consideran Residuos Hospitalarios y Similares (RHS) aquellos que se derivan de la prestación de servicios de salud y otros servicios y establecimientos tales como[5]:

- Actividades de práctica médica y odontológica.
- Apoyo diagnóstico y terapéutico
- Farmacias y droguerías
- Bancos de sangre, tejidos y semen.
- Centros de docencia e investigación con organismos vivos o cadáveres.
- Bioterios y laboratorios de biotecnología.
- Servicios de tanatopraxia, morgues, necropsias y exhumaciones.

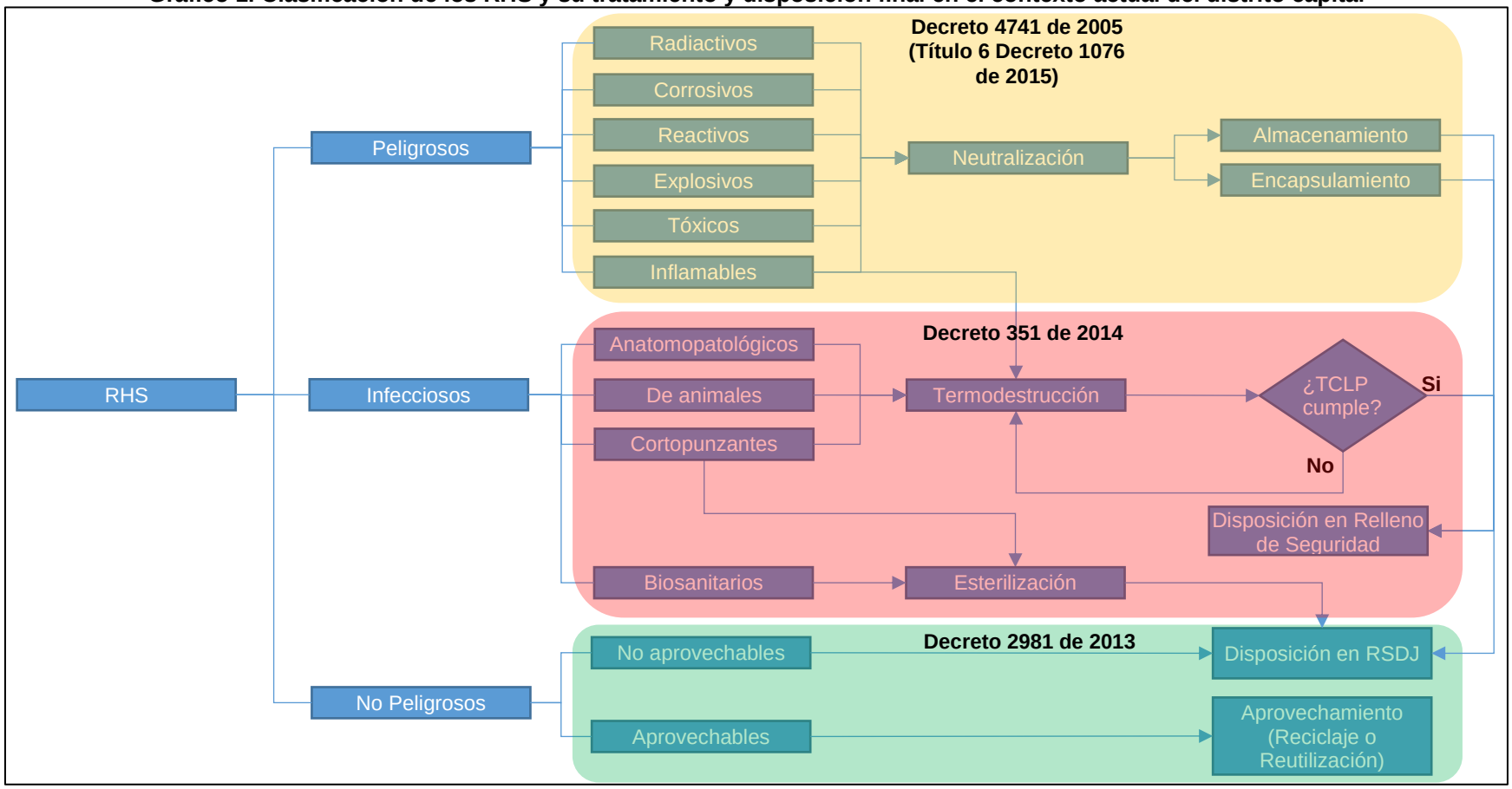
[5] COLOMBIA. MADS; MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL; MINISTERIO DE TRANSPORTE. Decreto 351 (19, febrero, 2014). Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades. Bogotá, 2014. p. 2

- Servicios de lavado de ropa hospitalaria o esterilización de material quirúrgico.
- Plantas de beneficio animal (mataderos).
- Servicios veterinarios (consultorios, clínicas, laboratorios, centros de zoonosis, zoológicos, tiendas de mascotas, droguerías y peluquerías veterinarias).
- Establecimientos destinados al trabajo sexual.
- Servicios de estética y cosmetología ornamental (barberías, peluquerías, salas de belleza, piercing, pigmentación, tatuajes y escuelas de formación en cosmetología y estilistas).

De acuerdo con los Decretos 2981 de 2013, 351 de 2014 y 1076 de 2015, estos residuos se componen de: i) Residuos Infecciosos (de Riesgo Biológico) ; ii) Radiactivos; iii) Peligrosos; y iv) No Peligrosos. Los RHS cortopunzantes, objeto de este estudio, se clasifican dentro de los residuos de tipo infeccioso, como se observa en el Gráfico 1.

La gestión para cada uno de éstos está reglamentada por disposiciones legales y lineamientos técnicos específicos (ver Gráfico 1); los requisitos contenidos en estas disposiciones se describen en el capítulo 5.

Gráfico 1. Clasificación de los RHS y su tratamiento y disposición final en el contexto actual del distrito capital



Fuente: Decretos 351 de 2014[6], 4741 de 2005[7] y 2981 de 2013[8]. Elaboración propia (2016)

[6] Ibid., p. 4, 5.
[7] COLOMBIA. MAVDT. Decreto 4741 (30, diciembre, 2005). Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Bogotá, 2005. p.3.
[8] COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 2981 (20, diciembre, 2013). Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. Bogotá, 2013. p. 5.

3.2 Propiedades del acero de los residuos cortopunzantes

Según las especificaciones sobre la composición del material del cual están hechos los elementos cortopunzantes que se utilizan en los servicios de salud y otros servicios y establecimientos similares, tales como agujas hipodérmicas (jeringas), quirúrgicas, de piercing y tatuaje, lancetas, escalpelos y limas, el metal usado en la elaboración de estos productos es acero inoxidable austenítico, el cual contiene entre un 8 y 37 %[9] de níquel (Ni) como segundo elemento principal de aleación.

De acuerdo con las fichas técnicas de productos de algunos fabricantes[10], los elementos metálicos que predominan en los residuos cortopunzantes están hechos de acero austenítico cuyas aleaciones están basadas en los estándares establecidos en las normas 304 y 316 del Instituto americano del hierro y el acero (AISI) (en inglés *American Iron and Steel Institute*) como se describe en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición del acero inoxidable con especificaciones AISI 304 y AISI 316

Elemento		Composición [%]							
		AK Steel		G-Style		Global Metals		NAS	
		Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
AISI 304	Carbono (C)	-	0,08	-	0,08	-	0,08	-	0,08
	Manganeso (Mn)	-	2	-	2	-	2	-	2
	Fósforo (P)	-	0,05	-	0,05	-	0,05	-	0,05
	Azufre (S)	-	0,03	-	0,03	-	0,03	-	0,03
	Silicio (Si)	-	0,8	-	1	-	1	-	1
	Cromo (Cr)	18	20	18	20	18	20	18	20
	Níquel (Ni)	8	12	8	10,5	8	10,5	8	11
	Molibdeno (Mo)	-	-	-		-	-	-	-
	Nitrógeno (N)	-	0,1	-	0,1	-	-	-	0,1
	Hierro (Fe)	-	-	66,4	74	-	-	66,4	74
AISI 316	Carbono (C)	-	0,08	-	0,08	-	0,08	-	0,08
	Manganeso (Mn)	-	2	-	2	-	2	-	2
	Fósforo (P)	-	0,05	-	0,05	-	0,05	-	0,05
	Azufre (S)	-	0,03	-	0,03	-	0,03	-	0,03
	Silicio (Si)	-	0,8	-	0,8	-	1	-	1
	Cromo (Cr)	16	18	-	18	16	18	-	-
	Níquel (Ni)	10	14	10	14	10	14	-	-
	Molibdeno (Mo)	2	3	-	3	2	3	16	18
	Nitrógeno (N)	0,1	0,1	-	0,1	0,1	0,1	10	14
	Hierro (Fe)	-	-	-	62	-	-	-	-

Fuente: Construido a partir de AK STEEL[11], G-STYLE[12], GLOBAL METALS[13] y NORTH AMERICAN STAINLESS[14]. Elaboración propia (2016)

Las características del acero inoxidable austenítico que pueden resaltarse son:

[9] INDURA. Manual de aceros inoxidables. Cerrillos, Chile: 2M Impresores LTDA. 2010. p.18

[10] DL, S.A. de C.V., Gima S.p.A., Bionen sas di B. Nencioni & C., Ethicon - Johnson & Johnson Medical Devices & Diagnostics Group – Latin America, L.L.C., FSSB y Biotek

[11] AK STEEL CORPORATION. 316/316L Stainless Steel. Product Data Bulletin. Recuperado el 19 de enero 2016, del sitio Web de AK STEEL: http://www.aksteel.com/pdf/markets_products/stainless/austenitic/316_316l_data_bulletin.pdf.

[12] G-STYLE S.A. Technical Specifications of AISI316. Recuperado el 19 de enero 2016, del sitio Web de G-STYLE: http://www.gstyle.com/en/download/aisi316.pdf.

[13] GLOBAL STEEL PTY. LTD. Stainless Steel - 316 / 316L. Recuperado el 19 de enero 2016, del sitio Web de GLOBAL STEEL: http://www.globalmetals.com.au/_pdf/Stainless_Steel/Stainless_Steel_316.pdf.

[14] NAS. North American Stainless. AISI 316. Recuperado el 19 de enero 2016, del sitio Web de NAS: http://www.northamericanstainless.com/wp-content/uploads/2010/10/Grade-316-316L1.pdf.

- Resistencia a la corrosión en una amplia gama de ambientes corrosivos, pero son vulnerables al agrietamiento por corrosión bajo tensiones o *Stress Corrosion Cracking* (SCC) en ambientes de cloruro.
- Maleabilidad y ductilidad.
- Resistencia a alta temperatura.
- Endurecible solamente por trabajo en frío.
- Sus características varían desde no magnéticos como en los Tipos AISI 310, 320 y 330 completamente austeníticos a notablemente magnéticos como en el Tipo AISI 312, que contiene más de un 25% de Ferrita.

La mayoría de los aceros inoxidables austeníticos comunes tales como 308(L), 309(L), 316(L) y 347 son levemente magnéticos debido a la presencia de Ferrita.

3.3 Tipos de tratamiento para residuos hospitalarios y similares

La finalidad de cualquier sistema de tratamiento es eliminar la peligrosidad de los Residuos Hospitalarios y Similares (RHS) a fin de que éstos no representen un riesgo para la salud humana. En ese sentido, según la Organización Panamericana de la Salud (OPS) cualquier sistema de tratamiento de RHS busca lograr[15]:

- Eliminar potencial infeccioso o peligroso antes de su disposición final.
- Reducir el volumen de RHS.
- Volver irreconocibles o irrecuperables los desechos de cirugía, eliminando su peligrosidad.
- Impedir la reutilización inadecuada de elementos reciclables.

[15] OPS. Tratamiento de Residuos Hospitalarios. Base de datos Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (BVSDE). [en línea]. [consultado el 24 de mar. 2015]. Disponible en <www.bvsde.paho.org/cursoa_reas/e/fulltext/Ponencias-ID54.pdf>

- Evitar impactos al ambiente con emisiones gaseosas, descargas líquidas y sólidas.

Los tipos de tratamiento de RHS infecciosos que se usan con mayor frecuencia son:

3.3.1 Tratamiento químico

En este tipo de tratamiento se usan desinfectantes químicos para destruir los agentes patógenos en los RHS. La eficacia de inactivación microbiana depende del tipo de desinfectante químico, su concentración, capacidad de exponer todas las superficies del residuo, tiempo de contacto, temperatura, pH, dureza del agua y cantidad de carga orgánica.

Algunas de las sustancias empleadas para este tipo de tratamiento son:

- Glutaraldehído ($C_5H_8O_2$): este desinfectante que puede ser ácido y alcalino, puede usarse en una concentración del 2% para fines de esterilización[16]. El tiempo de contacto necesario para esterilizar es de 10 a 12 horas, sin embargo durante 30 minutos es efectivo como desinfectante[17]. Es activo ante la presencia de materia orgánica e inactiva rápidamente los microorganismos, excepto las esporas. Fáciles de usar, son relativamente no corrosivos.

  No es un producto que presente una especial peligrosidad, ya que es poco volátil y raramente se encuentra en forma de vapor en el aire. La Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) (en inglés *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) establece un TLV – C[18] de 0,2 ppm (0,82 mg/m^3) y una solución d entre el 2 y el 10 % está clasificada como nociva y peligrosa para el medio ambiente[17].

[16] MINISTERIO DE SALUD (MINSA). Manual de desinfección y esterilización hospitalaria. Lima, Perú: MINSA – *United States Agency for International Development* (USAID). 2002. p. 69.
[17] INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO (INSHT). Notas Técnicas de Prevención (NTP): Desinfectantes: características y usos más Corrientes. p.2.
[18] TLV – C: abreviación de *Threshold Limit Value - Ceiling*. Concentración ambiental que no debe ser excedida ni siquiera por un instante

- Peróxido de Hidrógeno o Agua Oxigenada (H_2O_2): una concentración del 6% es esporicida pero muy corrosiva para instrumentos como endoscopios de fibra óptica[19].

  Se emplea en soluciones acuosas en concentraciones del orden del 35% pero se considera corrosivo y comburente en concentraciones superiores al 20%. Cuando se trata de procedimientos que implican la generación de fase vapor se usa en concentraciones ambientales no inferiores a 2 mg/L y la ACGIH ha establecido un TLV-TWA[20] de 1 ppm (1,4 mg/m^3) para esta sustancia[17].

- Formaldehído (CH_2O): está dirigido a todos los materiales que se utilizan para hemodiálisis. La esterilización se consigue a una concentración del 8 % por un tiempo de contacto de 24 horas[19].

  El formol es la disolución de formaldehído en agua en una proporción de alrededor de un 37% en peso, conteniendo así mismo entre un 10 y un 15% de metanol para evitar su polimerización. Las soluciones de formol que contienen concentraciones de formaldehído iguales o superiores al 5 % constituyen un eficaz desinfectante líquido. Sin embargo, su uso ha sido cuestionado debido a que se considera especialmente peligroso porque además de su acción irritante (irritación ocular en a concentraciones entre 0,1 y 1 ppm) y alérgena, está clasificado por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) (en inglés *International Agency for Research on Cancer*) como sustancia probablemente cancerígena (2A). La ACGIH ha establecido un TLV - C de 0,3 ppm (0,37 mg/m^3) y lo clasifica como carcinógenos (Grupo A2: Serio)[21].

- Ácido Peroxiacético o Peracético ($C_2H_4O_3$): se considera un derivado del H_2O_2 con el cual se usa de manera combinada en concentraciones del 35% de

[19] MINSA. Op. cit., p. 70.
[20] Abreviación de *Threshold Limit Value - Time Weighted Average.* Concentración promedio en tiempo de exposición, para un día laborable de 8 horas y una semana 40 horas, a las que casi cualquier trabajador puede ser expuesto día tras día sin efectos adversos.
[21] INSHT. Op. cit., p.2.

$C_2H_4O_3$ con H_2O_2. En concentraciones altas (40%), esta combinación es inflamable, muy corrosiva e inestable[22].

El tratamiento con esta sustancia puede requerir entre 25 y 30 minutos y su principal desventaja consiste en que no se puede esterilizar ningún instrumento que no sea sumergible, como endoscopios flexibles con cabezales antiguos[22].

- Hipoclorito de Sodio (NaClO): el cloro es el desinfectante universal y en general, se utiliza en forma de Hipoclorito de Sodio con diversas concentraciones de cloro libre.

  Como desinfectante se utiliza a una concentración de 1.0000 ppm (1 g/L) de cloro libre. En caso de salpicaduras de sangre o en presencia de materia orgánica en cantidad apreciable, se recurre a una solución 10.000 ppm de (10 g/L) de cloro libre.

  La inhalación de cloro puede producir hiperreactividad bronquial en individuos susceptibles. Por lo anterior, la ACGIH establece un TLV - TWA de 0,5 ppm (1,5 mg/m^3) y TLV - STEL[23] de 1 ppm (2,9 mg/m^3) y las soluciones de hipoclorito sódico que contienen concentraciones de cloro libre superiores al 10% deben considerarse como corrosivas.

- Amonio Cuaternario[21]: es un grupo de compuestos antimicrobianos conocidos como "quats" en los cuales las cuatro valencias del átomo de Nitrógeno (N) están ocupadas por grupos tipo alquilo. Son solubles en agua y en alcohol y poseen propiedades tensoactivas.

  Éstos incrementan la permeabilidad de la membrana celular de las bacterias ocasionando la pérdida de los componentes citoplasma. Por tal razón, es muy efectivo frente a bacterias y hongos, exceptuando las pseudomonas.

---

[22] MINSA. Op. cit., p. 70.

[23] TLV-STEL: abreviación de *Threshold Limit Value - Short term exposure limit*. Se refiere a un promedio ponderado de exposición de 15 minutos que no debe ser excedido en ningún momento durante un dia laborable, incluso si el tiempo promedio se encuentra dentro del TLV (valor límite).

- Yodóforos[21]: funciona de manera similar al NaClO. Las superficies limpias pueden tratarse adecuadamente con soluciones que contengan 75 ppm de yodo libre. En presencia de una cantidad apreciable de material proteico, su eficacia no es tan buena.

  La ACGIH establece para esta sustancia un TLV-C de 0,1 ppm (1,0 mg/m^3) y se considera una sustancia nociva.

  Según el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP) (en inglés *United Nations Environment Programme*)[24], otras sustancias utilizadas para este tipo de tratamiento son:

  - Dióxido de Cloro (ClO_2).
  - Cal hidratada o lechada de cal ($Ca(OH)_2$)
  - Óxido de Calcio o cal viva (CaO).
  - Ozono (O_3).

Los RHS infecciosos se depositan en un recipiente donde se mezclan con la sustancia desinfectante y después de un determinado tiempo de contacto, éstos son retirados y escurridos para luego ser transportados a un relleno sanitario. Debido a que esta operación requiere de un manejo cuidadoso de la sustancia para evitar daños a la salud de los operarios y vertimientos, este tratamiento resulta difícil de controlar cantidades grandes de residuos, por lo cual el Ministerio de Salud de Perú propone que este tipo de tratamiento es útil para Establecimientos de Servicios de Salud o Similares (ESS) cuya generación no supere los 10 kg/día.

Según el MPGIRHS, es posible la utilización de gases desinfectantes para el tratamiento de RHS, pero éstos requieren de equipos y procedimientos especiales debido a los riesgos a los que pueden estar expuestos los operarios que manipulan

[24] UNEP. Compendium of technologies for treatment/destruction of healthcare waste. Osaka, Japan: Division of technology, industry and economics international environmental technology centre, 2012. DTI/1561/JA.

estas sustancias. Por tal razón, la aplicación de estas sustancias no es muy frecuente en el tratamiento de RHS.

Algunos procesos de tratamiento químico a pequeña escala usan compuestos para encapsular los elementos cortopunzantes y solidificar la sangre u otros fluidos corporales dentro de una matriz sólida, para su posterior destrucción.

Un ejemplo de un proceso químico es el sistema de hidrólisis alcalina que utiliza álcali sometida a altas temperaturas dentro de un tanque de acero inoxidable para desintegrar tejidos, residuos patológicos o partes anatómicas.

3.3.2 Tratamiento por irradiación

Las radiaciones ionizantes provenientes de rayos de electrones son usadas para la esterilización de instrumentos médicos, este concepto también ha sido aplicado en el tratamiento de RHS. Sin embargo, la eficacia de inactivación microbiana depende de la dosis absorbida por la masa de residuos; es necesario adelantar un proceso de molienda o desfibración preliminar para potencializar su eficacia. Debido a la peligrosidad de las radiaciones para la salud humana, este método requiere de instalaciones robustas y personal altamente calificado.[25]

3.3.3 Tratamiento mecánico

Consiste en el procesamiento mecánico de los residuos mediante operaciones de trituración, molienda, mezcla y compactación. En general, éstos se utilizan para complementar otros tipos de tratamiento, con el objeto de mejorar parámetros tales como la transferencia de calor, la penetración de vapor de agua y el aumento del volumen de contacto de los residuos con agentes desinfectantes, entre otros. Los procesos mecánicos también se utilizan para reducir el volumen de residuos tratados o eliminar peligros físicos en el caso de los residuos cortopunzantes.

[25] OPS, Sistemas de tratamiento y disposición final de desechos hospitalarios DSH/P. [En línea]. Consultado el 27-11-2015. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/cursoa_reas/e/fulltext/modil.pdf

A menos que los equipos de trituración, mezcla, compactación u otros equipos para tratamiento mecánico sean una parte integral de un sistema de tratamiento cerrado (es decir, que no permita el contacto de agentes con las personas o el ambiente), éstos no deben ser usados antes de desinfectar los RHS de tipo infeccioso. De lo contrario, los operarios pueden estar expuestos a elementos patógenos que pueden ser liberados al ambiente durante la destrucción mecánica. Si los procesos mecánicos son parte de un sistema cerrado, los equipos deben estar diseñados para que el aire al interior de éstos sea desinfectado antes de ser liberado al espacio de trabajo o al ambiente exterior.

3.3.4 Tratamiento térmico

Es el tipo de tratamiento utilizado con mayor frecuencia en las instalaciones de tratamiento de RHS y consiste en emplear calor para destruir los agentes patógenos de estos residuos. Puede subdividirse en:

Procesos de baja temperatura: utilizan la energía térmica a temperaturas lo suficientemente altas para lograr una destrucción patógena, pero no suficiente para causar la combustión o pirólisis de los residuos. Las tecnologías aplicadas para este tipo de tratamiento operan en ambientes de calor húmedo o seco a temperaturas que oscilan entre los 100 °C y 180 °C[26].

De acuerdo con lo anterior, las tecnologías aplicadas para los procesos de baja temperatura son:

- Tratamiento con microondas: la desinfección se produce por la acción de calor húmedo (agua caliente y el vapor generado por la energía de microondas), mediante la aplicación de radiación electromagnética de corta longitud, la cual ocasiona que las moléculas de agua que contienen la materia orgánica friccionen en entre sí para producir calor, elevando la temperatura necesaria para la desinfección de los RHS.

[26] Ibid.

Las unidades de tratamiento por microondas operan a una frecuencia de 2.450 MHz[26].

- Tratamiento mediante vapor: utiliza vapor saturado a presión en una cámara conocida como autoclave o retorta en la que se someten los RHS infecciosos a altas temperaturas con la finalidad de destruir los agentes patógenos.

  La autoclave se caracteriza por tener una cámara de presión (cámara de esterilización) que está rodeada de una chaqueta que se abastece con vapor luego de cargar los RHS infecciosos en la cámara. Una vez que la autoclave está cargada y cerrada, se hace ingresar vapor a la cámara. Las temperaturas de operación deben estar entre 135 a 137° C por un tiempo de contacto de 30 minutos como mínimo[27].

  Para autoclaves híbridos, sistemas de tratamiento continuo de vapor y unidades de microondas que incorporan trituración o mezcla interna, se alcanzan reducciones de volumen entre un 60 y 80%[26].

- Tratamiento de calor por fricción: utilizan una trituradora de alta velocidad para generar calor, convirtiendo la humedad contenida en los residuos en vapor. Después de que todos los fluidos se han evaporado, el residuo se calienta alcanzando temperaturas entre 135 ° C y 150 ° C durante varios minutos. Estas tecnologías logran una reducción de volumen en un 80% y una reducción de la masa del 25 al 30%[26].

- Tratamiento con calor seco: este tipo de tratamiento elimina microorganismos por coagulación de las proteínas de éstos mediante aire caliente (debajo de las temperaturas de combustión entre los 150 °C y 170 °C)[28] sin adición de agua o vapor. El residuo se calienta por conducción, convección y/o radiación térmica utilizando calentadores infrarrojos o de resistencia.

---

[27] MINSA. Tecnologías de tratamiento de residuos sólidos de establecimientos de salud. Lima, Perú: Programa de fortalecimiento de servicios de salud, 1998. Serie de informes técnicos: MINSA, PFSS, Subcomponente de Sistemas Operativos. Lima. Octubre 1998. 128 pp.

[28] MINSA. Manual de desinfección y esterilización hospitalaria. Lima, Perú: MINSA – United States Agency for International Development (USAID). 2002. p. 59.

La efectividad de este tipo de tratamiento está condicionada por la presencia grasas o aceites, los cuales pueden ayudar a proteger a los microorganismos de la acción del calor.

Por otro lado, el calor seco penetra lentamente en los RHS infecciosos, lo que implica largos períodos de exposición (60 a 150 minutos)[29].

Procesos de alta temperatura: operan a temperaturas iguales o superiores a 180 °C, las cuales producen cambios químicos y físicos en los residuos a través de la combustión, pirólisis o gasificación. La mayoría de los procesos térmicos de alta temperatura operan a temperaturas superiores a 850 °C, como es el caso de la termodestrucción o incineración, la cual reduce los residuos orgánicos y combustibles a residuos sólidos incombustibles inorgánicos y subproductos gaseosos de combustión.

Mediante procesos de alta temperatura adecuadamente diseñados y operados, se puede reducir el volumen de los residuos entre un 80 y 90%, y su masa en un 75%, lo que constituye una ventaja con respecto a los procesos de baja temperatura, puesto que logra una mayor reducción de volumen y masa del residuo; no obstante, este proceso requiere de lavado de gases postcombustión.

3.3.5 Tratamiento por incandescencia

El residuo es introducido en cámara sellada que contiene gas inerte para evitar la ignición de los RHS. Dentro de esta cámara se conduce corriente eléctrica a través de los residuos para romper las membranas moleculares creando un ambiente plasmático. Este tipo de tratamiento se puede operar sin selección de materiales, por lo que se pueden tratar RHS u otro tipo de residuos simultáneamente[30].

[29] Ibid., p. 59.
[30] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, MINISTERIO DE SALUD. Manual de procedimientos para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares en Colombia. Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente. 2002. ISBN 958-9487-37-8. p. 50.

3.4 Equipos utilizados en el tratamiento de RHS

Las alternativas disponibles para el tratamiento de RHS varían según el tipo de tratamiento que se requiera aplicar y el tamaño de las instalaciones. Los equipos más usados en el tratamiento de RHS se describen a continuación:

3.4.1 Autoclave

Es una tecnología basada en la eliminación de agentes infecciosos mediante vapor a presión y temperatura en un tiempo determinado. Como se describió en el numeral 3.3.4, estos equipos consisten en un recipiente de acero con una puerta de cierre hermético (cámara de presión), generalmente diseñado para soportar presiones de una atmósfera relativa (dos atmósferas absolutas)[31] (Ver Imagen 3).

Imagen 3. Esterilización en autoclave de calor húmedo

[31] UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY. INSTITUTO DE HIGIENE. Base de datos CEFA. [base de datos en línea]. [consultado el 24 de mar. 2015]. Disponible en <http://www.higiene.edu.uy/cefa/Libro2002/Cap%2027.pdf>

Fuente: ECOCAPITAL S.A. E.S.P. Tecnologías de tratamiento de residuos hospitalarios y similares [diapositivas]. Bogotá: ECOCAPITAL S.A. E.S.P. 34 dispositivas, color.

Una vez los residuos ingresan en la cámara de presión, se produce vacío para extraer el aire de la cámara, el cual se mezcla con el vapor de agua que pasa por un condensador y filtro y posteriormente se inyecta en el interior, a fin de evitar la formación de burbujas de aire. Luego se realiza un segundo vacío extrayendo el contenido de aire y vapor de la cámara.

Para que la desinfección sea completa, el vapor tiene que penetrar en cada parte de los RHS infecciosos, lo que puede lograrse por medio de la extracción de aire en la cámara de presión y el rompimiento de las bolsas que contienen los residuos mediante la inyección de vapor. La temperatura y tiempo de contacto también deben controlarse para garantizar la efectividad de estos equipos, para lo cual el agua usada para generar el vapor se deja hervir durante algún tiempo después que haya alcanzado los 100 ºC. Por otro lado, el equipo cuenta con un sistema que controla la temperatura, de manera que una vez se alcanza una temperatura de 137 °C, comienza a contar el tiempo de tratamiento, que es de 30 minutos[32]. Algunos autores proponen los siguientes tiempos de contacto:

[32] MINSA. Tecnologías de tratamiento de residuos sólidos de establecimientos de salud. Lima, Perú: MINSA; 1998. Programa de Fortalecimiento de Servicios se Salud (PFSS).

Tabla 2. Especificaciones de temperatura y tiempo de contacto propuestas por diferentes autores

Autor	Temperatura (°C)	Tiempo de contacto (min)
Universidad de Buenos Aires (UBA)	121	30 - 60
Universidad de la República	121	15 - 20
Ministerio de Salud (MINSA)	134 - 138	≥ 28

Fuente: UBA[33], UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA[34], MINSA[35]. Elaboración propia (2016)

Con base en la información de la Tabla 2, se encuentra que para garantizar la eficacia en la esterilización de los RHS, estos equipos deben operar en un rango de temperatura entre los 121 y 138 °C, con tiempos de contacto entre 15 y 60 minutos, dependiendo de las siguientes condiciones[36]:

- Calidad de vapor (mezcla de vapor y aire puro).
- Presencia de aire al interior de la cámara.
- Tipo de envase empleado.
- Tipo y densidad del residuo.

Por otro lado, para lograr una desinfección efectiva, especialmente de las agujas que hacen parte de los residuos cortopunzantes, es preferible complementar el proceso mediante un sistema cerrado de trituración preliminar, lo cual también elimina la peligrosidad cortopunzante de estos objetos[37].

Existen varios tipos de autoclave, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- Acutoclave vertical de manejo manual: está compuesto por dos recipientes cilíndricos, uno externo con tapa de cierre hermético que se asegura por múltiples tornillos, y uno interno sin tapa donde se ingresa el material a esterilizar. Estos equipos también están equipados con una fuente de calor, que puede ser suministro de gas.

[33] UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES (UBA). FACULTAD DE MEDICINA. Base de datos DEPTO. [base de datos en línea]. [consultado el 24 de mar. 2015]. Disponible en <http://www.fmed.uba.ar/depto/microbiologia/500004.pdf>

[34] UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY. INSTITUTO DE HIGIENE. Base de datos CEFA. [base de datos en línea]. [consultado el 24 de mar. 2015]. Disponible en <http://www.higiene.edu.uy/cefa/Libro2002/Cap%2027.pdf>

[35] MINSA. Op. cit. p. A/9.

[36] OPS. Base de datos Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (BVSDE). [base de datos en línea]. [consultado el 24 de mar. 2015]. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/cursoa_reas/e/fulltext/modil.pdf>

[37] UNEP. Compendium of technologies for treatment/destruction of healthcare waste. Osaka, Japan: Division of technology, industry and economics international environmental technology centre, 2012. DTI/1561/JA.

En el recipiente externo se agrega agua destilada, la cual al llegar al punto de ebullición genera el vapor para esterilizar. Como medidas de control de la presión, este recipiente está equipado de una válvula de seguridad, un manómetro o termómetro y una llave de salida o escape.

En el recipiente interno se ingresan los residuos infecciosos y también se ingresa el vapor para entrar en contacto con los microorganismos a fin de eliminarlos.

- Autoclave de gravedad: son equipos eléctricos, automáticos o manuales en los que el aire contenido en el interior de la cámara es desplazado al exterior por gravedad desde la parte superior hacia la parte inferior de la autoclave a través de una válvula. Como precaución debe introducirse el vapor lentamente para que no se caliente el aire al salir, puesto que en cuanto más frío el aire, su densidad es mayor, lo que hace propicio su desplazamiento hacia la salida de la cámara.

  Existe variedad de tamaño de estos equipos, desde modelos que pueden ser colocados sobre una mesa -como los que son utilizados en clínicas y consultorios- hasta grandes unidades capaces de tratar grandes cantidades, que son transportadas e incorporadas al sistema mediante carritos de carga.

- Autoclave de vacío: estos equipos cuentan con una bomba de vacío, o sistema Venturi, para retirar el aire de la cámara de manera rápida, de modo que el vapor ingresa a la cámara con mayor velocidad, lo que permite mayor eficiencia del autoclave al eliminar las burbujas de aire e incrementar la velocidad del proceso.

- Antes del ingreso de vapor se realizan uno o varios ciclos de vacío para extraer el aire contenido en la cámara.

- Autoclave de esterilización rápida: son equipos automáticos y consiguen un ciclo de esterilización en 20 minutos. Son similares a los equipos descritos anteriormente, excepto porque éstos cuentan con una bomba de vacío para

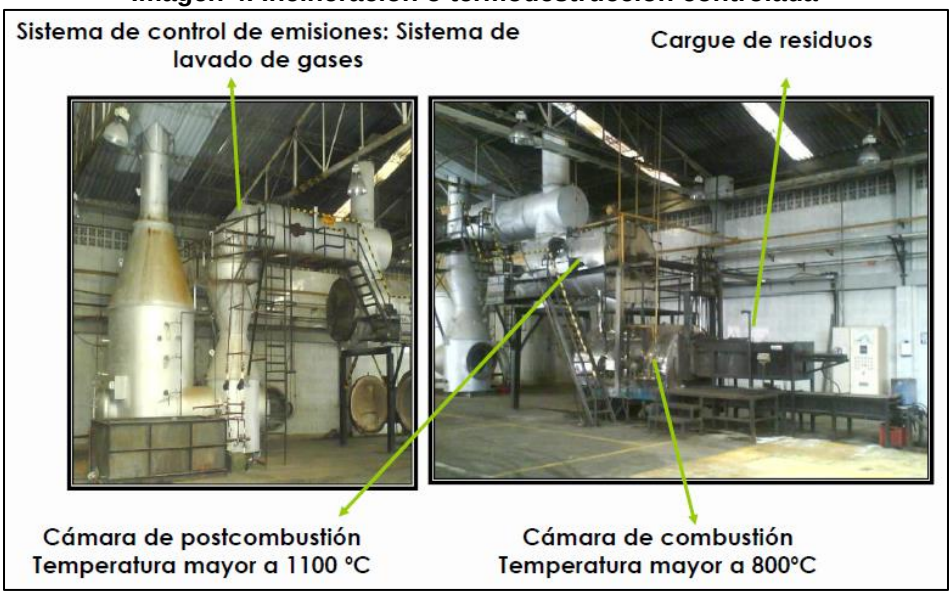
extraer el aire del equipo, para reducir la presión hasta unos 15 o 20 mmHg y liberar el vapor.

- Autoclave móvil: se compone de un camión-trailer equipado con la cámara de presión, la cual es llenada en la medida que éste pasa por los ESS para recoger los residuos. Una vez llena la cámara, el camión se desplaza hasta una estación central en la que se conecta la cámara a una fuente de vapor para realizar el proceso de desinfección.

3.4.2 Incinerador

En general, estos equipos cuentan con dos cámaras (Ver Imagen 4): una cámara primaria o de combustión que opera a una temperatura entre 600 y 850 °C y una secundaria o de post-combustión que opera a temperaturas iguales o superiores a 1.200 °C[38], en donde los gases provenientes de la cámara primaria con contenido de gases tóxicos de la quema de plásticos (*i.e.* Dioxinas, PCBs, SOx, NOx, entre otros) rompen sus cadenas químicas, cumpliendo con los estándares nacionales e internacionales de emisión de contaminantes atmosféricos y garantizando que su concentración no sea peligrosa para la salud de las personas ni para el ambiente.

Imagen 4. Incineración o termodestrucción controlada



[38] OPS. Base de datos Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (BVSDE). [base de datos en línea]. [consultado el 24 de mar. 2015]. Disponible en < www.bvsde.paho.org/cursoa_reas/e/fulltext/Ponencias-ID54.pdf>

Fuente: ECOCAPITAL S.A. E.S.P.[39] Adaptado por el autor (2016)

La cámara primaria generalmente está hecha de acero y revestida con ladrillos refractarios. Su función principal es retener el calor producido por los quemadores, que consisten en unas boquillas que pulverizan el combustible en una mezcla con aire a presión, el cual se enciende mediante una chispa producida por un sistema eléctrico que hace parte del equipo.

Algunas cámaras primarias cuentan con sistemas de suministro de aire para mantener una combustión completa de los residuos que se están incinerando y mantener la temperatura de operación adecuada sin el uso de combustible.

La cámara secundaria también es una estructura en acero revestida de ladrillo refractario. A diferencia de la cámara primaria, ésta es de menor tamaño y soporta mayores temperaturas. Como se mencionó anteriormente, en esta unidad los gases generados en la combustión de la primera cámara son incinerados mediante un quemador adicional.

Los gases de combustión de la cámara secundaria pasan por un sistema lavador de gases o *scrubber* provisto de duchas que suministran agua e hidróxido de sodio (NaOH) para enfriar los gases de combustión, a fin de precipitar y de retener las partículas en suspensión y neutralizar gases ácidos como el dióxido de azufre (SO_2) y el ácido clorhídrico (HCL). Los gases ya limpios de partículas y enfriados pasan a través de un filtro antes de ser eliminados al ambiente.

La incineración se aplica generalmente a los residuos que poseen un poder calorífico alto, es decir una alta proporción de materia orgánica y no más de un 60 a 70 % de agua[40] para que pueda ser quemado aprovechando el calor producido, sin requerir combustible adicional y resultando en un proceso económicamente viable.

[39] ECOCAPITAL S.A. E.S.P. Tecnologías de tratamiento de residuos hospitalarios y similares [diapositivas]. Bogotá: ECOCAPITAL S.A. E.S.P. 34 dispositivas, color.

[40] SEMINARIO: “LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS”. (5-8, junio, 2000: Buenos Aires, Argentina). Tecnologias para el tratamiento de Residuos industriales por termodestrucción. Buenos Aires: Asociación para el Estudio de los Residuos Sólidos (ARS), 2000. 49 p.

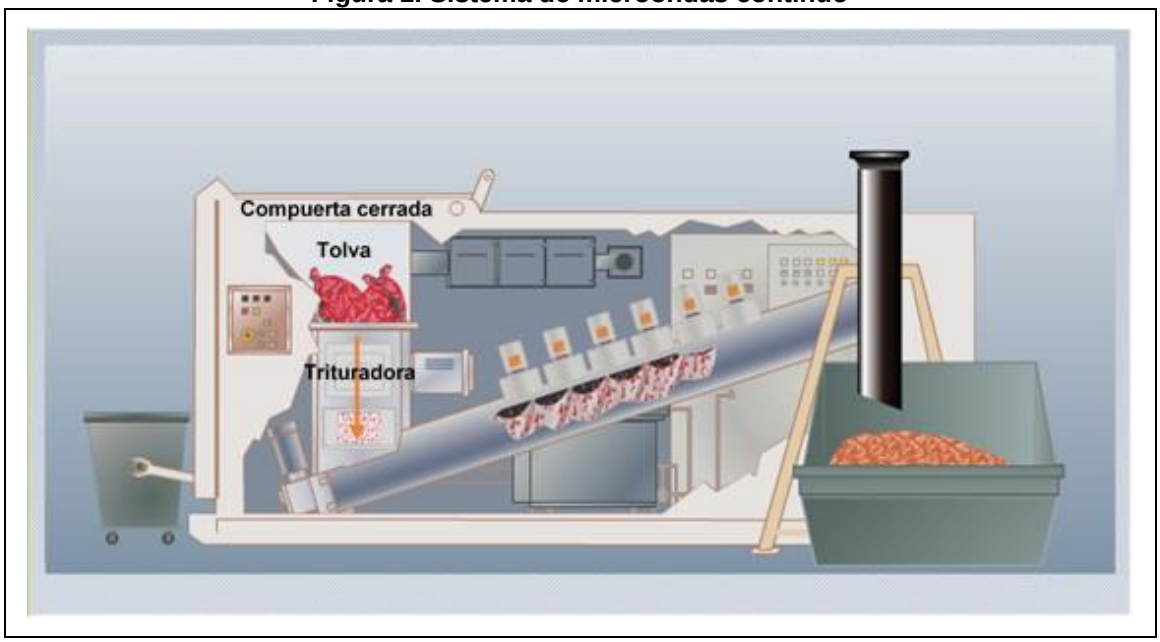
3.4.3 Sistema de microondas continua

Los equipos de tratamiento de RHS por microondas están compuestos por un sistema automático de carga, una tolva, trituradora, tornillo transportador, tornillo de descarga, generadores de microondas y un sistema de control de aire (Figura 1).

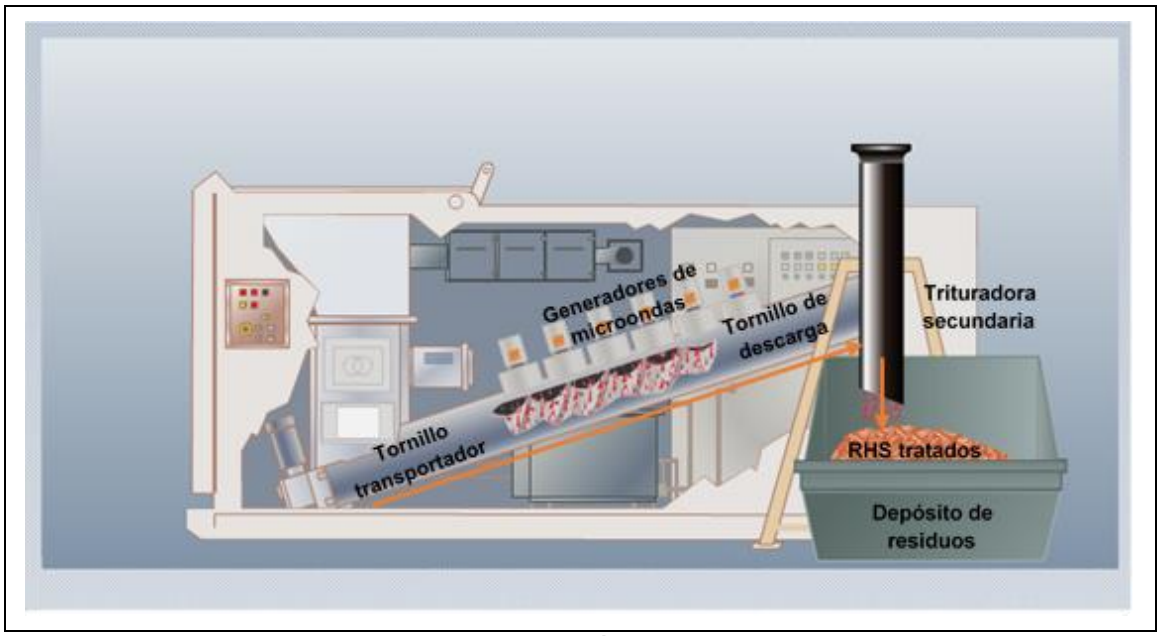
Los desechos cargados en la tolva son transportados por medio del tornillo transportador (barrena), donde entran en contacto con las microondas (ondas electromagnéticas de 2.450 MHz de frecuencia y 12,3 cm de longitud de onda) y son calentados hasta temperaturas de 95 a 100 °C a través de 4 o 6 generadores de microondas. Estos equipos utilizados a gran escala son capaces de tratar 250 kg/hora de residuos (3.000 toneladas/año) [41].

Algunos sistemas cuentan con una sección de retención para realizar una trituración secundaria en caso de que los residuos requieran de una trituración más fina.

Figura 1. Sistema de microondas continuo



[41] RODRÍGUEZ, Gerson Leandro y CARREÑO, David Leonardo. Evaluación técnica, ambiental y financiera de la alternativa seleccionada para el tratamiento de residuos infecciosos con énfasis en residuos anatomopatológicos. Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá D.C.: Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. 2014. p. 17.



Fuente: SANITEC[42]. Adaptado por el autor (2016)Según SANITEC Industries Inc., dentro de una unidad de microondas continua se realizan los siguientes pasos para su operación[43]

Carga de residuos: los RHS ingresan de manera automática al sistema, en el que se inyecta vapor a 90 °C en la tolva. El aire es extraído a través de un filtro de alta eficiencia (HEPA) (en inglés *High Efficiency Particuated Air*), a medida que los RHS ingresan.

Trituración interna: una vez cerrada la compuerta de la tolva, los residuos son triturados por un brazo giratorio ubicado en la parte posterior de la tolva.

Tratamiento por microondas: los RHS triturados se transportan a través de un tornillo (transportador) y mientras su recorrido, éstos son expuestos a vapor y luego calentados a una temperatura entre 95 °C y 100 °C por cuatro o seis generadores de microondas.

Tiempo de retención: se presenta una sección dentro de la unidad que garantiza que los residuos infecciosos sean tratados en un tiempo mínimo de 30 minutos.

[42] SANITEC INDUSTRIES INC. Microwave Healthcare Waste Disinfection System. Recuperado el 19 de enero 2016, del sitio Web de SANITEC: http://www.sanitecind.com.
[43] SANITEC INDUSTRIES INC., Citado por RODRÍGUEZ, G. y CARRENO, D. Evaluación técnica, ambiental y financiera de la alternativa seleccionada para el tratamiento de residuos infecciosos con énfasis en residuos anatomopatológicos. Bogotá: Universidad de La Salle, 2014. p. 18.

Trituradora secundaria: los RHS tratados se transportan mediante un tornillo (descarga) hacia una segunda trituradora para disminuir su volumen.

Descarga: una vez tratados los desechos son descargados directamente en un contenedor, para su disposición final.

3.4.4 Hidrolisis Alcalina

Los cuerpos de animales, partes humanas y tejidos se transforman en una solución acuosa descontaminada mediante la aplicación de Hidróxido de Sodio (NaOH) o de Potasio (KOH) para destruir fijadores en los tejidos y sustancias químicas peligrosas, tales como formaldehído, glutaraldehído y agentes de quimioterapia[44].

En la práctica se utiliza un tanque de acero inoxidable con una camisa a vapor y una cesta en el que los RHS se cargan al tanque herméticamente sellado (Imagen 5), se le adiciona álcali (NaOH o KOH) en cantidades proporcionales a la carga de RHS que se ingresa al tanque.

Los contenidos se calientan hasta una temperatura entre 110 a 150 °C en la que los tejidos son destruidos al igual que los agentes patógenos. El tiempo de contacto es de 6 a 8 horas, dependiendo las cantidades de álcali y la temperatura, y la a carga de RHS que puede tratarse mediante esta tecnología oscila entre los 15 y 4.500 kg. Además se requiere de un tratamiento posterior para el manejo del líquido remanente[45].

[44] UNEP. Compendium of technologies for treatment/destruction of healthcare waste. Osaka, Japan: Division of technology, industry and economics international environmental technology centre, 2012. DTI/1561/JA.

[45]COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, Y DESARROLLO SOSTENIBLE (MADS). La gestión externa de los residuos hospitalarios en Colombia. Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Bogotá. 2009.

Imagen 5. Digestor para Hidrólisis Alcalina. Modelo BE 96-100-10000

Fuente: BIOSAFE EGINEERING, Citado por RODRÍGUEZ, G. y CARRENO, D. Evaluación técnica, ambiental y financiera de la alternativa seleccionada para el tratamiento de residuos infecciosos con énfasis en residuos anatomopatológicos. Bogotá: Universidad de La Salle, 2014. p. 19.

La hidrolisis alcalina puede ser controlada de manera sistematizada o manualmente por personal capacitado. Los pasos de la operación para una unidad típica de hidrolisis alcalina son[46]:

- Carga de residuos: el cesto de acero inoxidable es cargado con los RHS para posteriormente ser depositados en el digestor. En sistemas grandes el cesto es fijado a un puente grúa para ser transportados al interior del digestor.

- Digestión alcalina: una concentración de NaOH o KOH (de acuerdo con la carga de residuos) se bombea dentro del digestor al igual que la inyección de vapor. La temperatura, el tiempo de calentamiento y la circulación son controlados automáticamente.

- Enfriamiento: después de la digestión, el controlador es apagado automáticamente y el contenido dentro del digestor se deja enfriar en la noche a temperatura ambiente o en algunos sistemas se aplica agua para refrigerar.

[46] UNEP. Compendium of technologies for treatment/destruction of healthcare waste. Osaka, Japan: Division of technology, industry and economics international environmental technology centre, 2012. DTI/1561/JA.

- Descarga de efluentes: el hidrolizado es diluido con agua mediante el enjuague del recipiente del digestor y luego es almacenado en un tanque para posteriormente verterlo al alcantarillado.

- Eliminación de residuos sólidos: posterior a la hidrolisis, el recipiente de acero se retira del digestor para que los restos óseos y cenizas sean depositados en contenedores de residuos ordinarios o no aprovechables para ser eliminados como un residuo convencional.

3.4.5 Antorcha de plasma (arco voltaico o eléctrico)

El plasma se genera en unos dispositivos conocidos como antorchas de plasma y éste se presenta como arco eléctrico o voltaico de dos formas[47]:

- Arco no transferido: los electrodos están acoplados en ella y el estado de plasma se genera en la de descarga.

- Arco transferido: el arco eléctrico salta a la antorcha hasta un baño de metal fundido que actúa de ánodo, o bien sobre la pared del reactor recubierta de grafito.

Estos equipos destruyen los patógenos de los RHS por la alta temperatura generada al ionizar un gas en la cámara de tratamiento mediante dos electrodos, lo que da como resultado gas ionizado (plasma). Esta tecnología es usada comúnmente en la industria del acero (soldadura) y se ha incorporado recientemente al tratamiento de RHS[48].

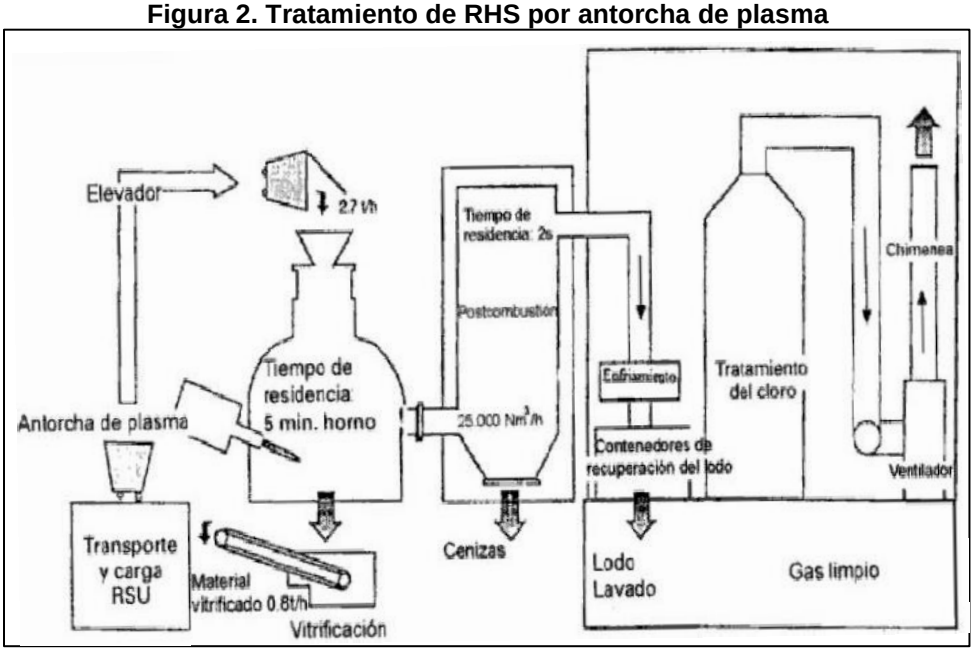
Las incineradoras de plasma que procesan residuos sólidos emplean una combinación de ambos tipos de antorchas -de arco transferido y no transferido- y la temperatura en la cámara se encuentra entre 5.000 y 15.000 ºC[47], por lo que las moléculas orgánicas del residuo se rompen en sus constituyentes elementales y se recombinan parar formar moléculas sencillas, mientras que las moléculas

[47] UNIVERSIDAD DE HUELVA (UHU). Incineración por plasma y y otras tecnologías térmicas innovadoras para el tratamiento de residuos industriales [diapositivas]. Huelva, España: UHU. 44 diapositivas, color.
[48] MINSA. Tecnologías de tratamiento. Recuperado el 21 de noviembre de 2015, del sitio Web de MINSA: http://www.minsa.gob.pe/Publicaciones/pubs/Tecnologias/03.htm.

inorgánicas se vitrifican. La inexistencia de productos volátiles intermedios de combustión incompleta permite reducir al mínimo el sistema de depuración de gases.

Al comparar esta tecnología con otros tipos de tratamiento, ésta no requiere de combustión, sino de atomización de la materia y no se generan emisiones ni residuos líquidos, puesto que básicamente se obtienen gases simples y un sólido inerte vitrificado. En la Figura 2 se muestra el esquema de una planta de tratamiento de residuos con antorcha de plasma, en la que el objetivo es la esterilización de los materiales.

Figura 2. Tratamiento de RHS por antorcha de plasma



Fuente: CASTELLS[49]. Adaptado por el autor (2016)

3.5 Ventajas y desventajas de los tipos de tratamiento para RHS

Una vez analizadas las características de las diferentes tecnologías para el procesamiento de RHS a la luz de los propósitos de tratamiento (ver numeral 4.2) y de las necesidades para recuperar la fracción metálica de los mismos, se

[49] CASTELLS, X. E. 2000. Citado por UNAD. Curso en sistemas de tratamiento y disposición final de residuos sólidos – Lección 28: Antorcha de plasma. Recuperado el 21 de noviembre de 2015, del sitio Wb de la UNAD: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358012/ContLin/leccin_28_antorcha_de_plasma.html.

identificaron las ventajas y desventajas de cada una, las cuales se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de los tipos de tratamiento de RHS

Tipo de tratamiento	Tecnología aplicada	Ventajas	Desventajas
Químico	Desinfectantes químicos	- Se pueden tratar residuos infecciosos y ordinarios (no aprovechables). - Útil para ESS de salud. - Puede realizarse en la fuente de generación. - Permite separar material aprovechable contenido en los residuos tratados, incluyendo elementos de acero, mediante procesos adicionales.	- Efluentes con soluciones químicas activas. - No reduce el volumen de los residuos. - Riesgos asociados a su manipulación. - El tratamiento resulta difícil de controlar para cantidades grandes de residuos. - Emisiones gaseosas con algunas soluciones químicas. - Es necesario acondicionar los residuos antes del proceso. - Los residuos quedan reconocibles por tanto existe el riesgo de ser reutilizados y de generar lesiones.
Irradiación	Generador de haz de electrones	- Alto grado de efectividad. - Contaminación atmosférica mínima. - Se pueden tratar los residuos infecciosos y ordinarios. - No genera efluentes ni emisiones gaseosas peligrosas. - Permite separar material aprovechable contenido en los residuos tratados, incluyendo elementos de acero, mediante procesos adicionales.	- Requiere de máxima seguridad ante el peligro de radiaciones. - Requiere de un proceso de molienda preliminar. - Peligrosidad para la salud humana por exposición a radiaciones. - No reduce el volumen de los residuos. - Tecnología compleja de operación y mantenimiento. - Requiere personal especializado y estrictas normas de seguridad. - La fuente de irradiación se convierte en residuo peligroso al terminar su vida útil. - Altos costos de inversión. - Los residuos quedan reconocibles por tanto existe el riesgo de ser reutilizados y de generar lesiones.
Térmico de baja temperatura mediante vapor	Autoclave	- Reduce el volumen entre 60 y 80%; con un sistema complementario de trituración de desechos se alcanza hasta un 70%. - Destrucción total de patógenos. - No hay necesidad de acondicionar los residuos previamente al proceso. - Se puede contar con sistemas móviles de esterilización vapor. - Tiene efluentes estériles. - Fácil operación. - No tiene riesgos asociados a la manipulación de químicos o exposición a radicaciones.	- Riesgos de quemaduras en caso de mala operación. - Requiere de una línea de vapor para que sus costos de operación sean razonables. - Requiere de un sistema complementario de destrucción de desechos (trituración). - Los residuos quedan reconocibles por tanto existe peligro de ser reutilizados. - Requiere un sistema de tratamiento de gases. - Dificulta separar material aprovechable contenido en los residuos tratados, incluyendo elementos de acero.

Tipo de tratamiento	Tecnología aplicada	Ventajas	Desventajas
Térmico de baja temperatura mediante vapor	Hornos	- Reduce el volumen de los residuos en un 60%. - No hay necesidad de acondicionar los residuos previamente al proceso. - Se puede contar con sistemas móviles. - Se pueden tratar los residuos infecciosos y ordinarios. - Bajo riesgo en su operación. - No hay efluentes ni emisiones gaseosas peligrosas. - No usa productos químicos. - El producto final es irreconocible, eliminando el riesgo de ser reutilizados o de ocasionar lesiones. - Olor y niveles de ruido muy reducidos. - No tiene riesgos asociados a la manipulación de químicos o exposición a radicaciones.	- Las temperaturas de tratamiento (95°C) no eliminan todo el espectro de patógenos presentes en los residuos. - No es apropiado para tratar más de 800 a 1.000 kg diarios de residuos. - Riesgos de emisiones de aerosoles que pueden contener productos orgánicos peligrosos. - Se requiere de personal entrenado y capacitado para la operación y mantenimiento. - Requiere de estrictas normas de seguridad. - Dificulta separar material aprovechable contenido en los residuos tratados, incluyendo elementos de acero.
Térmico de alta temperatura	Horno incinerador	- Reduce el volumen en un 90%. - Destrucción total de patógenos. - No hay necesidad de acondicionar los residuos previamente al proceso. - Se puede contar con sistemas móviles de incineración. - Se pueden tratar los residuos infecciosos y ordinarios. - No tiene riesgos asociados a la manipulación de químicos o exposición a radicaciones.	- Requiere de lavado de gases postcombustión (Dioxinas, Furanos, PCBs, SOx,NOx entre otros). - Riesgos en la operación, se pueden provocar fogonazos, incendios y quemaduras al operador. - Se requiere de personal entrenado y capacitado para su operación y mantenimiento. - Dificulta separar material aprovechable contenido en los residuos tratados, incluyendo elementos de acero.
Incandescencia	Antorcha de plasma	- Transfieren calor rápidamente. - Es un proceso pirolítico porque prácticamente no necesita O_2. - Puede trabajar con varios tipos de según las exigencias del residuo. - Requiere de un espacio relativamente pequeño (14 m^2). - Pueden diseñarse como unidades móviles para ser instaladas sobre remolques. - Necesita períodos de tiempo cortos en arranque y parada, respondiendo rápidamente a condiciones adversas de trabajo. - No tiene riesgos asociados a la manipulación de químicos o exposición a radicaciones.	- Requiere de lavado de gases postcombustión (Dioxinas, Furanos, PCBs, SOx,NOx entre otros). - Las altas temperaturas de trabajo exigen materiales sofisticados. - Se requiere de personal entrenado y capacitado para su operación y mantenimiento. - Dificulta separar material aprovechable contenido en los residuos tratados, incluyendo elementos de acero.

Fuente: OPS[50]. Adaptado por el autor (2016)

4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA GIRHS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ

En la actualidad el único proveedor autorizado en la ciudad de Bogotá para realizar la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de RHS es la empresa ECOCAPITAL S.A. E.S.P., mediante la concesión No. 186 de 2011.

[50] OPS. Curso de autoaprendizaje – Control de riesgos sanitarios y gestión adecuado de residuos de establecimientos de atención de salud. 2007. MÓDULO 5 Sistemas de tratamiento y disposición final de los DSH/P. p. 4 – 8.

A pesar de que la base de operaciones de la empresa cuenta con un horno de incineración pirolítico de doble cámara que tiene una capacidad de 500 kg/h[51] (4.320 ton/año), este equipo no está en funcionamiento[52] y por consiguiente la empresa está tratando una parte de los RHS por desactivación de alta eficiencia mediante autoclave de calor húmedo. La otra parte se está tratando por termodestruccón a través de tres (3) operadores: TECNIAMSA S.A. E.S.P., PROSARC S.A. y ECOVILLAGE S.A.S. E.S.P. (en adelante TECNIAMSA, PROSARC y ECOVILLAGE)

4.1 Generación y composición de RHS en Bogotá

De acuerdo con los datos suministrados por la SDS (Tabla 4), la cantidad de RHS de tipo cortopunzante generados en el 2013 aumentó considerablemente con respecto al total generado en el 2010; específicamente aumentó la cantidad generada de residuos de tipo cortopunzante, duplicándose en este periodo de tiempo. Lo anterior se podría deber a diferentes factores, incluyendo mejoras en los controles para el registro de esta información.

Tabla 4. Generación de residuos cortopunzantes entre el año 2010 y el año 2014 por los establecimientos vigilados por la SDS de Bogotá

Cantidad generada (ton)				
2010	2011	2012	2013	2014
504,9	542,2	610	1.028,1	996,8

*** Incluye el peso del recipiente en el cual se almacenan y disponen.**
**** No incluye los residuos de animales debido a que la SDS no solicita esta información a los ESS.**
Fuente: Datos suministrados por la SDS de Bogotá. Elaboración propia (2016)

La cantidad de residuos cortopunzantes en el período analizado, tratados mediante termodestrucción en los últimos años, oscila entre 17,7 y 106,7 toneladas anuales, según información presentada en la Tabla 5, correspondiente a las actas de incineración de ECOCAPITAL.

[51] ECOCAPITAL S.A. E.S.P. Estudio técnico de evaluación y gestión ambiental para los fines de solicitud de la modificación de la licenia ambiental para construcción, montaje y operación de la planta de incineración y tratamiento de residuos hopitalarios infecciosos otorgada a ECOCAPITAL Internacional S.A. E.S.P. mediante la resolución DAMA No. 2517 del 03 de octubre de 2005. ECOCAPITAL S.A. E.S.P. Bogotá: 2005. p. 27
[52] El Ing. David Moreno. (Ärea de Tratamiento,)

Tabla 5. Residuos cortopunzantes sometidos a tratamiento por termodestrucción entre el año 2012 y 2016, según reportes

Año	Meses reportados		Cortopunzantes (ton)		
	PROSARC	TECNIAMSA	PROSARC	TECNIAMSA	Total
2012	5	9	5,5	45,2	50,7
2013	12	12	64,1	42,5	106,7
2014	11	12	66,4	15,4	81,8
2015	12	10	17,2	0,5	17,7
2016	12	2	84,9	0	84,9

Fuente: Datos suministrados por la ECOCAPITAL S.A. E.S.P.. Elaboración propia (2016)

Los registros del año 2013 son los más completos, puesto que se cuenta con datos de los 12 meses del año. Tomando como referencia los datos de ese año, se encuentra que del total de residuos cortopunzantes generado, un 10% es sometido a tratamiento mediante termodestrucción.

La masa de los RHS que son sometidos a termodestrucción se reduce considerablemente. Esto se debe a que gran parte de los RHS sometidos a este proceso se gasifica, especialmente los residuos anatomopatológicos, puesto que su contenido de humedad y CHONS corresponde al 97%.

En la Tabla 6 se presenta el porcentaje de humedad y de materia de los residuos cortopunzantes que cambia a estado gaseoso durante el proceso de termodestrucción, la cual está compuesta por Carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Azufre (S).

Tabla 6. Composición porcentual de elementos gasificados durante la termodestrucción de RHS

Residuo	Composición porcentual de RHS (%)					
	C	H	O	N	S	Humedad
Biosanitario	53,5	7,2	26,1	0	0	13,2
Animales muertos	3,5	5,3	38,7	2,5	0,4	7,35
Anatomopatológico	20,7	3	9,3	3,5	0,2	60,2
Cortopunzante	18	3	2	0	0	26

Fuente: PROSARC S.A. E.S.P.[53]. Adaptado por el autor (2016)

Lo anterior se explica al observar que la proporción de RHS anatomopatológicos tratados es significativamente superior a la de los residuos cortopunzantes, como se observa en la Tabla 7, correspondiente a la composición de los RHS tratados por termodestrucción en PROSARC y TECNIAMSA.

[53] PROSARC S.A. E.S.P. Estudio de impacto ambiental para la operación de transporte, recolección, tratamiento y disposición de residuos peligrosos y no peligrosos. Colombia, Mosquera: PROSARC S.A. E.S.P. 2015.

Tabla 7. Cantidad anual de RHS tratados por termodestrucción en PROSARC y TECNIAMSA, desde al año 2012 al 2016

Año	PROSARC				TECNIAMSA			
	meses reportados	C	DA	A	meses reportados	C	DA	A
2012	5	5,5	0,6	136,9	9	45,2	2,4	1.032,5
2013	12	64,1	44,1	867,4	12	42,5	26	595,9
2014	11	66,4	52,4	965,6	12	15,4	38,1	437,6
2015	12	17,2	47,9	1.460,5	10	0	1,7	132,6
2016	12	84,9	130,6	1.233	2	0	0	8,2

C	Cortopunzantes
DA	De animales
A	Anatomopatológicos

Fuente: Datos suministrados por la ECOCAPITAL S.A. E.S.P.. Elaboración propia (2016)

En la Tabla 8 se observa la proporción de los RHS entregados por ECOCAPITAL a PROSARC (i.e. sometidos a termodestrucción) y las cenizas resultantes al finalizar el proceso, para los años 2013 y 2014.

Tabla 8. RHS de ECOCAPITAL incinerados por PROSARC y cenizas generadas en los años 2013 y 2014

Año	Mes	C (ton)	DA (ton)	A (ton)	RHS (ton)	Cenizas (ton)
2013	enero	2,2	0	56,4	58,6	*
2013	febrero	3,3	1	60,9	65,2	3,3
2013	marzo	4,4	3,4	89,5	97,3	8,6
2013	abril	4,8	1,2	75,1	81,1	4,1
2013	mayo	4,7	6,8	68,7	80,2	4
2013	junio	3	1,7	72	76,7	3,8
2013	julio	2,5	4	73,5	79,9	4
2013	agosto	8,5	5,9	89,4	103,7	1,7
2013	septiembre	5,6	6,4	67,7	79,7	*
2013	octubre	9,9	7,3	73,7	90,9	*
2013	noviembre	0,9	1,9	83,6	86,4	*
2013	diciembre	14,5	4,6	57,1	76,2	*
2014	enero	7,7	6	82,8	96,5	5,5
2014	febrero	0,6	2,7	85,1	88,3	5,9
2014	marzo	0	0	0	0	0
2014	abril	4,7	4	57,2	65,9	4,2
2014	mayo	8,6	5,1	92,7	106,4	6,1
2014	junio	4,4	5,2	74,5	84,1	4,1
2014	julio	9,2	9,2	105,9	124,4	7,5
2014	agosto	6,1	5,7	85,4	97,2	5,6
2014	septiembre	6,9	6,6	97,1	110,6	6,2
2014	octubre	7,1	0,9	102,5	110,5	6,2
2014	noviembre	5,1	1,9	92,9	99,9	6,1
2014	diciembre	6,1	5,1	89,3	100,6	6,2

*** No se reportan datos**

Fuente: Datos suministrados por la SDS de Bogotá y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Elaboración propia (2016)

4.2 Disposición final de los RHS de Bogotá

La celda de seguridad del RSDJ se encuentra operando desde el año 1998 y tiene una superficie de 1,5 Ha proyectada para almacenar 28.406 ton. Para el 2005 se proyectaba una vida útil de la celda hasta septiembre de 2006, pero ésta se ha extendido debido a que desde el 2006 una parte de los RHS se ha venido disponiendo directamente en las celdas de residuos convencionales o no aprovechables, como residuos esterilizados[54].

Por otro lado, de acuerdo con información suministrada por TECNIAMSA, las cenizas provenientes de la termodestrucción de los RHS recolectados por ECOCAPITAL, actualmente se están disponiendo en la celda de seguridad operada por TECNIAMSA, la cual se localiza en el Parque Tecnológico Ambiental La Sabana (PTALS) ubicado en el municipio de Mosquera (Km 4 vía La Mesa, vereda Balsillas). Esta celda tiene actualmente una capacidad de 250.000 ton y una vida util de 3 años aproximadamente[55].

4.3 Estimación de acero contenido en los RHS en Bogotá

De la información contenida en la Tabla 6, se puede suponer que un 51% de la masa que compone los residuos cortopunzantes (i.e. fracción distinta a CHONS y humedad) se transforma en cenizas, debido a que la fracción metálica y de vidrio se mantiene en estado sólido al pasar por el proceso de termodestrucción[56]. Con el propósito de estimar la cantidad de acero y vidrio que compone los residuos cortopunzantes, se empleó la Ecuación 1, utilizada por PROSARC en la elaboración de un estudio de impacto ambiental para la gestión de residuos peligrosos y no peligrosos (2015).

[54] KOKUSAI KOGYO CO. LTD. y EX RESEARCH INSTITUTE LTD. Op. cit.
[55] BONILLA, John. TECNIAMSA S.A. E.S.P. Mosquera. Observación inédita, 2016.
[56] MORENO, David. Área de Tratamiento de ECOCAPITAL S.A. E.S.P.. Bogotá, Colombia. Observación inédita, 2014.

Ecuación 1. Estimación de cantidad de vidrio y acero en residuos cortopunzantes

$$R_{(A+V)_n} = 0{,}51 \times R_{C_n}$$

Fuente: PROSARC S.A. E.S.P.[57]. Elaboración propia (2016)

Donde,

R_{A+V}: Cantidad de acero y vidrio cortopunzantes correspondientes al año n (ton).

R_{Cn}: Cantidad de residuos cortopunzantes correspondientes al año n (ton).

Aplicando la Ecuación 1 a los datos de la Tabla 4, se estimaron las cantidades residuos cortopunzantes de acero y vidrio generadas entre los años 2010 a 2013, obteniendo los resultados presentados en la Tabla 9.

Tabla 9. Cantidad de residuos cortopunzantes de acero y vidrio generados entre los años 2010 y 2013

Cantidad residuos acero y vidrio cortopunzante (ton)			
2010	2011	2012	2013
257,5	276,5	311,1	524,3

Fuente: Elaboración propia (2016) a partir de datos suministados por la SDS de Bogotá

Empleando los datos de la cantidad de cenizas que resultan de la termodestrucción en PROSARC (Tabla 8), se encuentra que para el período comprendido entre febrero y agosto de 2013, 584 ton de RHS se trataron por termodestrucción y como resultado se generaron 29,4 ton de cenizas. Para todo el el año 2014 se trataron 1.084,4 ton de RHS, de las cuales se generaron 63,6 ton de cenizas. Con esto se estima que la masa de las cenizas resultantes del proceso representa entre 5% y 5,9% de la masa de RHS tratados por termodestrucción.

Aplicando el porcentaje estimado sobre la cantidad total anual de RHS tratados por termodestrucción entre los años 2012 y 2016, se obtiene que la cantidad de cenizas provenientes de los RHS de Bogotá, como se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10. Cantidad de cenizas generadas en el proceso de termodestrucción de RHS entre los años 2012 y 2016

EMPRESA	Año	RHS (ton)	Ceniza								
			Mín			Med			Máx		
			5%	Por empresa	Total	5,4%	Por empresa	Total	5,9%	Por empresa	Total
PROSARC	2012	142,9	7,2			7,8			8,4		

[57] PROSARC S.A. E.S.P. Estudio de impacto ambiental para la operación de transporte, recolección, tratamiento y disposición de residuos peligrosos y no peligrosos. Colombia, Mosquera: PROSARC S.A. E.S.P. 2015.

EMPRESA	Año	RHS (ton)	Ceniza								
			Mín			Med			Máx		
			5%	Por empresa	Total	5,4%	Por empresa	Total	5,9%	Por empresa	Total
	2013	975,7	49,1	260,5	380,2	53,2	282,1	411,7	57,2	303,7	433,2
	2014	1.084,4	54,6			59,1			63,6		
	2015	1.525,6	76,8			83,1			89,5		
	2016	1.448,5	72,9			78,9			85		
TECNIAMSA	2012	1.080,1	54,4	119,7		58,9	129,2		63,4	139,5	
	2013	664,4	33,4			36,2			39,0		
	2014	491,1	24,7			26,8			28,8		
	2015	134,8	6,8			7,3			7,9		
	2016	8,2	0,4			0,4			0,5		

*** No se reportan datos**

Fuente: Datos suministrados por ECOCAPITAL S.A. E.S.P.. Elaboración propia (2016)

Por otro lado, mediante la Ecuación 1 se estima las cantidades de vidrio y acero de los RHS de Bogotá que se han dispuesto en la celda de seguridad del PTALS, una vez sometidos a termodestrucción (Tabla 11).

Tabla 11. Cantidad de acero y vidrio de los RHS de Bogotá dispuestos en celda de seguridad entre los años 2012 y 2016

EMPRESA	Año	Meses	Acero + Vidrio (ton)	Total Acero + Vidrio dispuesto por empresa (ton)	Total Acero + Vidrio dispuesto (ton)
PROSARC	2012	5	2,8	121,4	174,3
	2013	12	32,7		
	2014	11	33,9		
	2015	12	8,8		
	2016	12	43,3		
TECNIAMSA	2012	9	23,1	52,8	
	2013	12	21,7		
	2014	12	7,9		
	2015	10	0,2		
	2016	2	0		

Fuente: Datos suministrados por ECOCAPITAL S.A. E.S.P.. Elaboración propia (2016)

Debido a que no se cuenta con cálculos de la proporción de acero inoxidable que hace parte de las cenizas, la fracción de este material se estima partiendo del volumen de llenado del recipiente de segregación en la fuente y embalaje de residuos cortopunzantes (en adelante guardián), el cual equivale a la suma del volumen de elementos de acero (agujas, escalpelos, lancetas, etc.), el volumen de elementos de plástico (jeringas, citocepillos, etc.), volumen de elementos de vidrio (ampolletas, laminillas porta objetos y cubreobjetos, vidriería rota, etc.) y otros elementos (hisopos). (Ecuación 2).

Ecuación 2. Volumen de residuos cortopunzantes almacenados en el guardián

$$V_R = V_V + V_A + V_P + V_O$$

Fuente: El autor (2016)

Donde,

V_R: Volumen ocupado por los RHS cortopunzantes dentro del guardián (no puede superar ¾ de la capacidad del guardián).

V_V: Volumen ocupado por los elementos de vidrio dentro del guardián.

V_A: Volumen ocupado por los elementos de acero dentro del guardián.

V_P: Volumen ocupado por los elementos de plástico dentro del guardián.

V_O: Volumen ocupado por otros elementos dentro del guardián.

Según la resolución 1164 de 2002, los guardianes deben tener una capacidad que no supere los 2 L y una resistencia a la punción o cortadura superior a 12,5 N, por lo que se estima que el valor máximo de V_R es:

$$V_R = \frac{3}{4}(2L) = 1{,}5L = 0{,}0015m^3$$

Por otro lado, los guardianes de PP con capacidad de 2 L que se encuentran en el comercio, tienen un peso de aproximadamente 180 g (0,2 kg)[58].

El volumen ocupado por el residuo puede estimarse mediante el la relación entre su masa y su peso específico, por lo que la Ecuación 2 puede expresarse como:

Ecuación 3. Estimación del volumen de residuos cortopunzantes almacenados en el guardián a partir de su masa y peso específico

$$V = \frac{m}{\gamma} \rightarrow V_R = \frac{m_V}{\gamma_V} + \frac{m_A}{\gamma_A} + \frac{m_P}{\gamma_P} + \frac{m_O}{\gamma_O}$$

Fuente: El autor (2016)

[58] MAXISALUD. Recolectores de cortopunzantes. Recuperado el 04 de enero de 2016, del sitio Web de MAXISALUD: http://www.maxisalud.co/nuestros-productos.html

Donde,

m: Cantidad en masa correspondiente al elemento que compone los residuos cortopunzantes.

γ: Peso específico correspondiente al elemento que compone los residuos cortopunzantes.

De acuerdo con lo anterior, se hiceron iteraciones para estimar la masa de cada componente de los residuos cortopunzantes dentro del guardián, (i.e. acero, vidrio, plástico y otros elementos) cuyos pesos específicos se tomaron de la Tabla 12.

Tabla 12. Peso específico de los residuos según el componente

Componente		γ (kg/m^3)	
		Mín	Máx
Orgánico	Alimentos	130,5	480,5
	Papel	41,5	130,5
	Cartón	41,5	80
	Plástico	41,5	130,5
	Textil	41,5	100
	Caucho	100	200
	Cuero	100	260
	Jardín	60	220
	Madera	130	320
Inorgánico	Vidrio	160	480,5
	Lata	50	160
	Aluminio	65	240
	Otros metales	130	1.150
	Polvo y Ceniza	320	1.000

Fuente: TCHOBANOGLOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S. [59]. Adaptado por el autor (2016)

Para el acero se asumió el peso específico de “Otros metales” y para otros elementos el de “Madera”, puesto que este componente se constituye de hisopos, cuya composición es de madera en su mayor proporción; el algodón constituye una proporción pequeña que puede ser omitida dentro del análisis.

Para obtener la proporción de acero en los RHS, se realizaron iteraciones utilizando la Ecuación 2 y los valores mínimo, promedio y máximo de los pesos específicos de los componentes de los residuos cortopunzantes. Se asumió un V_R igual a 0,0015

[59] TCHOBANOGLOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S. Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues. New York: McGraw Hill. 1994. p. 82.

m^3 y que la suma de la masa de acero y vidrio corresponde a un 51% de la masa total de los residuos cortopunzantes (incluyendo el guardián).

Como resultado, se obtuvo que la proporción en masa del acero oscila entre 24,7% y 25,6% con respecto al peso de un guardián lleno; y entre 48,4 y 50,1% con respecto a la cantidad de cenizas resultantes de la termodestrucción del guadián lleno.

A partir de estos cálculos y los porcentajes de vidrio y acero de la Tabla 11, se estima que la cantidad total de acero inoxidable dispuesto en la celda de seguridad del PTALS oscila entre 84,9 y 87,4 ton para el período 2012-2016 (Tabla 13).

Tabla 13. Estimación de la cantidad de acero dispuesto en la celda de seguridad del PTALS entre los años 2012 y 2016

EMPRESA	Año	Meses	Acero dispuesto (ton)								
			Mín (48,7%)			Med (49,7%)			Máx (50,1%)		
			Anual	Total empresa	Total	Anual	Total empresa	Total	Anual	Total empresa	Total
PROSARC	2012	5	1,4	59,1	84,9	1,4	59,7	85,7	1,4	60,9	87,4
	2013	12	15,9			16,1			16,4		
	2014	11	16,5			16,7			17		
	2015	12	4,3			4,3			4,4		
	2016	12	21,1			21,3			7,2		
TECNIAMSA	2012	9	11,2	25,7		11,4	26		11,6	26,5	
	2013	12	10,6			10,7			10,9		
	2014	12	3,8			3,9			3,9		
	2015	10	0,1			0,1			0,1		
	2016	2	0			0			0		

Fuente: Datos suministrados por ECOCAPITAL S.A. E.S.P.. Elaboración propia (2016)

En cuanto a la cantidad de acero dispuesta en el RSDJ, se tomaron los datos del año 2013 de la Tabla 4 y Tabla 7, obteniendo un estimado de 921,4 ton de residuos cortopunzantes sometidos a desactivación de alta eficiencia con autoclave; la cantidad de acero se estima entre 228,9 y 235,4 ton, como se presenta en la Tabla 14.

Tabla 14. Estimación de acero de residuos cortopunzantes dispuestos en celda de seguridad del RSDJ en el año 2013

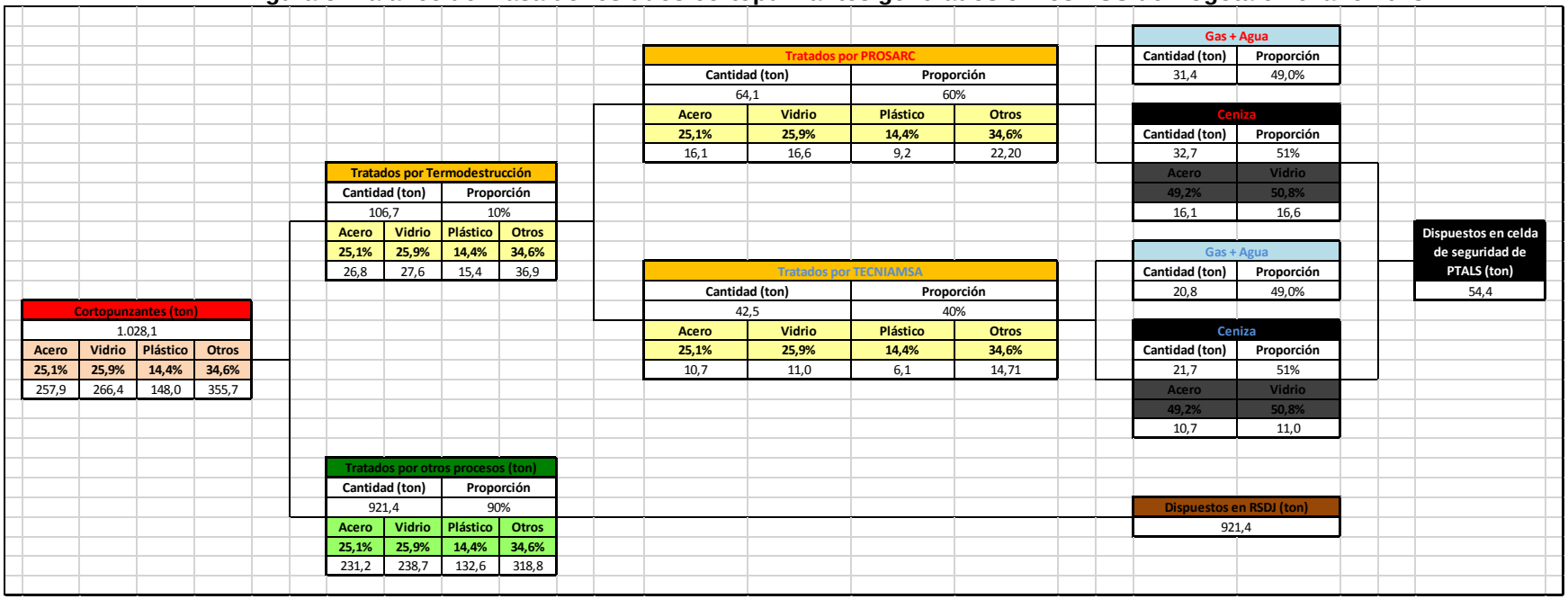
Residuos cortopunzantes dispuestos (ton)	Acero + Vidrio dispuestos (ton)	Estimación de Acero (ton)		
		Min (48,7%)	Med (49,2%)	Max (50,1%)
921,4	470	228,9	231,2	235,4

Fuente: Datos suministrados por ECOCAPITAL S.A. E.S.P. y SDS. Elaboración propia (2016)

Tomando como referencia los porcentajes obtenidos de las iteraciones mencionadas anteriormente y la cantidad de residuos cortopunzantes generada en

el año 2013 (Tabla 4), el balance de masa de los residuos cortopunzantes provenientes de los ESS de Bogotá se resume en la Figura 3.

Figura 3. Balance de masa de residuos cortopunzantes generados en los ESS de Bogota en el año 2013



Fuente: El autor (2016)

5 MARCO NORMATIVO DE LA GIRHS EN BOGOTÁ

De acuerdo con el Decreto conjunto 351 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Ministerio de Protección Social y Ministerio de Transporte, los residuos infecciosos deben ser gestionados de manera especial a través operadores o proveedores del servicio que cuenten con las condiciones técnicas, así como con la respectiva licencia ambiental[60], tanto para recoger y transportar estos residuos, como para realizar el tratamiento y disposición final, a fin garantizar que su peligrosidad no afecte la salud de las personas y las condiciones ambientales. En ese sentido, los residuos cortopunzantes incluyendo los elementos compuestos de acero que pueden ser aprovechados, deben someterse a un tratamiento especial, el cual puede cambiar sus propiedades dependiendo del proceso utilizado para tal fin.

Con el fin de identificar las restricciones y necesidades de la gestión de residuos cortopunzantes, es importante identificar los lineamientos contenidos en la normatividad a nivel nacional y distrital para la generación en la fuente, recolección y transporte, tratamiento y/o aprovechamiento y disposición final de los RHS. Para lo anterior, se desarrolló la matriz de identificación de normatividad aplicable presentada en en el Anexo 1; a continuación se describen los aspectos a resaltar sobre los requerimientos para la GIRHS en Bogotá.

<u>Lineamientos técnicos de la generación en la fuente</u>

De acuerdo con lo establecido en la resolución 1164 de 2002 y los decretos 1076 de 2015 y 351 de 2014, todo residuo generado en las ESS, se considera infeccioso si es mezclado con residuos infecciosos; por tal razón debe garantizarse su separación en la fuente, como lo establece el MPGIRHS en Colombia (Anexo 2).

Los ESS deben ubicar recipientes en cada área de servicio, según la cantidad, capacidad y rotulación necesarios para almacenar y separar los RHS. Algunos recipientes son desechables y otros reutilizables (retornables) y todos deben estar

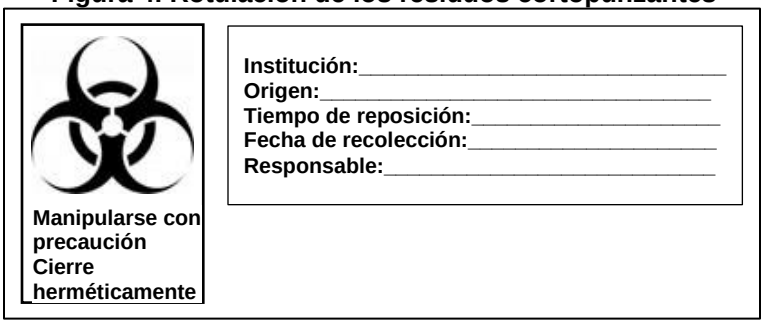
[60] Artículo 2.2.2.3.2.3 del Decreto único reglamentario 1076 de 2015

identificados y rotulados según el código de colores y etiquetado del Anexo 2. Si el establecimiento cuenta con un código de colores más amplio, puede aplicarlo siempre y cuando garantice la separación según el tipo de residuo.

Para almacenar los residuos cortopunzantes pueden seleccionarse diferentes tipos de recipiente, cumpliendo con las siguientes características[61]:

- Desechables y de paredes gruesas.
- Rígidos en Polipropileno de alta densidad (PP) u otro polímero que no contenga Policloruro de Vinilo (PVC).
- Con tapa ajustable o de rosca, de boca angosta, de tal forma que al cerrarse quede completamente hermético (cuando la hermeticidad del recipiente no pueda ser asegurada, deberá emplearse una solución de H_2O_2 al 28%).
- Rotulados de acuerdo con la clase de residuo (Figura 4).
- Livianos y de capacidad no superior a 2 L.
- Resistencia a punción cortadura superior a 12,5 N.

Figura 4. Rotulación de los residuos cortopunzantes



Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, MINISTERIO DE SALUD[61]. Adaptado por el autor (2016)

Según lo establecido en los artículos 7 y 9 de la ley 1252 de 2008 y el artículo 2.2.6.1.3.2 del decreto 1076 de 2015, el generador es responsable de los residuos

[61] Ibid. p. 47

peligrosos que genere y la responsabilidad se extiende a los siguientes ítems que se deriven de éstos:

- Efluentes.
- Emisiones.
- Productos y subproductos.
- Equipos desmantelados y en desuso utilizados en la manipulación de este tipo de residuos.
- Elementos de protección personal utilizados en la manipulación de este tipo de residuos.
- Efectos ocasionados a la salud y al ambiente.

Sin embargo, esta responsabilidad subsiste hasta que el residuo sea aprovechado como insumo o dispuesto finalmente en depósitos o sistemas técnicamente diseñados de manera tal que no representen riesgos para la salud humana y para el entorno natural.

Por lo anterior, y teniendo en cuenta lo establecido en los artículos 6 y 7 del decreto 351 de 2014, para el caso de Bogotá, una vez los RHS son tratados y dispuestos, el concesionario del servicio de recolección, transporte, tratamiento y disposición final (i.e. ECOCAPITAL) entrega un acta al establecimiento generador, en la que se da constancia de los residuos entregados por el generador que fueron tratados y dispuestos, especificando las cantidades de cada tipo de residuos. Así mismo, los proveedores con los que se gestiona el tratamiento (i.e. PROSARC, TECNIMASA y ECOVILLAGE S.A.S. E.S.P.) entregan al concesionario un acta que da constancia del proceso de tratamiento aplicado, pero no se discriminan las cantidades por establecimiento, sino por tipo de residuo infeccioso (i.e. anatomopatológico, biosanitario, cortopunzante y de animales).

5.1 Lineamientos de la recolección y transporte

Actualmente, la recolección y transporte de RESPEL y no peligrosos generados en Bogotá, se está realizando a través de proveedores especializados para cada uno de estos tipos de residuos.

Los residuos no peligrosos que no son aprovechables, son transportados por las empresas que tienen concesión para llevarlos directamente al RSDJ (i.e. LIME S.A. E.S.P., Aseo Capital E.S.P., ATESA S.A. E.S.P. y Ciudad Limpia S.A. E.S.P.), mientras que los residuos no peligrosos aprovechables son transportados por proveedores privados que los llevan a centros de acopio o plantas procesadoras para reciclar el material.

Particularmente, los RESPEL son transportados por proveedores privados con licencia ambiental; los RHS de tipo infeccioso son transportados por ECOCAPITAL.

En caso de que la recolección y/o transporte de estos residuos se realice junto con otros RESPEL, el decreto 1076 de 2015 establece que no se deben movilizar en un mismo vehículo aquellos RESPEL que sean incompatibles. Sin embargo, según lo establecido en el decreto 1609 de 2002 y las NTC 3969 de 1998 y 1692 de 2005, es posible hacerlo siempre y cuando se garantice que éstos sean separados según las prescripciones de segregación definidas en estas normas, las cuales para el caso de los RHS de tipo infeccioso se presentan en el Anexo 3.

De acuerdo con los decretos 1076 de 2015 y 351 de 2014, en caso de que el proveedor del servicio de recolección y/o transporte preste el servicio de embalado y etiquetado de RHS, éste debe realizar estas actividades de acuerdo con los requisitos establecidos en la normatividad vigente, la cual en este caso es la NTC 4702-6 de 1999, en la que se establecen las especificaciones técnicas para embalajes o envases para el transporte de mercancías peligrosas de clase 6 (Tóxicas e Infecciosas).

En cuanto a los vehículos de recolección y transporte de RHS, éstos deben cumplir con las especificaciones definidas en la resolución 1164 de 2002, los decretos 1609 de 2002 y la NTC 1692 de 2005, como se describe en la Tabla 15.

Tabla 15. Especificaciones técnicas de los vehículos transportadores de RHS

Identificación del vehículo	Nombre del municipio(s).
	Tipo de residuos que transporta.
	Nombre de la empresa.
	Dirección de la empresa.
	Número telefónico de la empresa.
	Rótulo del tipo de sustancias según la NTC 1692 con el número de clase o división definido por UN (Recomendaciones Relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas).
Acondicionamiento del vehículo	Superficies internas lisas de bordes redondeados.
	Con adecuaciones necesarias para evitar el derrame o esparcimiento de residuos en vías y estacionamientos.
	Drenaje con tapa hermética
	Sistema de carga y descarga que no permita que se rompan los recipientes
	Altura desde el piso al punto de carga en el vehículo inferior a 1,20 m (para carga manual).
	Pito que se active al momento que se encuentre en reversa.
Dotación del vehículo	Canastillas retornables donde se depositan las bolsas con RHS. Estos recipientes serán de material rígido e impermeable, evitando la compresión de los RHS al sobreponer bolsas.
	Sistemas de comunicación a fin de informar accidentes, daños en el vehículo que impidan su marcha y sea posible su desvare inmediato.
	Elementos básicos para atención de emergencias como, extintor de incendios (al menos 2 unidades de tipo multipropósito), ropa protectora, linterna, botiquín de primeros auxilios, equipo para recolección y limpieza, material absorbente, entre otros.
	Los establece el generador de acuerdo con su capacidad de almacenamiento y el volumen de generación de residuos. La frecuencia de recolección de los residuos infecciosos no podrá ser inferior a una vez semanal (7 días), debido a sus características y posible descomposición.

Horarios y frecuencias de recol	Pequeños generadores (farmacias, centros de pigmentación y/o tatuajes) podrán ampliar el tiempo de almacenamiento (en ningún caso superior a un mes).
Lavado y desinfección	Se realiza únicamente en los lugares designados para tal fin dentro de las instalaciones del prestador del servicio especial de aseo, y el efluente proveniente de esta actividad debe ser objeto de tratamiento cumpliendo con lo establecido en los decretos 3930 de 2010 y 3180 de 2000 y resolución 631 de 2015.

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE, MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, MINISTERIO DE SALUD, ICONTEC. Elaboración propia (2016)

En el caso de que los RHS de tipo infeccioso sean transportados hacia otro país, el decreto 1076 de 2015 y la ley 253 de 1996, establecen que éstos deben estar embalados, etiquetados y transportados de conformidad con los reglamentos y normas internacionales que correspondan, teniendo en cuenta los usos internacionales admitidos, especialmente las recomendaciones de las Naciones Unidas - UN en materia de transporte de mercancías peligrosas y el Convenio de Basilea.

5.2 Lineamientos técnicos del tratamiento y/o aprovechamiento

El aprovechamiento de los materiales contenidos en los residuos sólidos, tiene como propósitos fundamentales:[62]

- Racionalizar el uso y consumo de las materias primas provenientes de los recursos naturales.
- Recuperar valores económicos y energéticos que hayan sido utilizados en los diferentes procesos productivos.
- Disminuir el consumo de energía en los procesos productivos que utilizan materiales reciclados.
- Aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios al reducir la cantidad de residuos a disponer finalmente en forma adecuada.
- Reducir el caudal y la carga contaminante de lixiviados en el relleno sanitario, especialmente cuando se aprovechan residuos orgánicos.

[62] COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Op. cit., p. 31.

- Disminuir los impactos ambientales, tanto por demanda y uso de materias primas como por los procesos de disposición final.

- Garantizar la participación de los recicladores de oficio, en las actividades de recuperación y aprovechamiento, con el fin de consolidar productivamente estas actividades y mejorar sus condiciones de vida.

El anexo IV de la ley 253 de 1996 establece que el depósito, dentro o sobre la tierra (e.g. rellenos sanitarios) no puede conducir a la recuperación, reciclaje, regeneración o reutilización directa u otros usos de los residuos, lo que implica que el acero de los elementos cortopunzantes que hacen parte de las cenizas dispuestas en el relleno de seguridad del PTALS o en la celda de seguridad del RSDJ, no puede ser reciclado, a pesar de que las pruebas TCLP muestran que éstas no representan características de peligrosidad por riesgo biológico o químico. Lo anterior obedece a que los elementos de acero como agujas, escalpelos, lancetas conservan su forma, lo que aún representa un riesgo de ocasionar algún tipo de lesión a las personas que los manipulen.

El MPGIRHS reglamentado mediante la resolución 1164 de 2002 establece que los residuos infecciosos biosanitarios, cortopunzantes y de animales pueden ser llevados a rellenos sanitarios previa desactivación o esterilización de alta eficiencia (Tabla 16) y los residuos anatomopatológicos y de animales contaminados deben ser desactivados mediante desactivación de baja eficiencia (Tabla 16).

Tabla 16. Tipos de desactivación o esterilización

Tipo de esterilización	Proceso o equipo de tratamiento
Alta eficiencia	Autoclave de calor húmedo
	Calor seco
	Radiación
	Microondas
	Uso de gases
	Equipos de arco voltaico
	Incandescencia
Baja eficiencia (química)	Uso de las sustancias descritas en el numeral 3.3.1.

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Elaboración propia (2016)

Según la resolución 0482 de 2009 y el decreto 2981 de 2013, no se podrán reciclar elementos o insumos médicos que se consideren como un residuo de carácter infeccioso. No obstante, el numeral 7.2.4.1 del Manual de Procedimientos para la

gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares en Colombia, adoptado mediante la resolución 1164 de 2002 y vigente, indica que los residuos cortopunzantes podrán ser dispuestos en relleno sanitario o reciclados en plantas de fundición de metales, siempre y cuando éstos hayan sido tratados por esterilización de alta eficiencia con autoclave de calor húmedo.

Las empresas operadoras de los equipos de termodestrucción deben contar con las autorizaciones, licencias y permisos ambientales establecidos en la legislación ambiental en materia de transporte, almacenamiento, emisiones, atmosféricas, vertimientos líquidos, tratamiento y disposición de residuos, así como localizar el sitio de operación de estos equipos según el uso del suelo definido en los lineamientos de ordenamiento territorial (Plan, Plan Básico o Esquema de Ordenamiento Territorial) y el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio.

De acuerdo con las resoluciones 886 de 2004 y 909 de 2008 y los decretos 2981 de 2013, 351 de 2014 y 1076 de 2015, las instalaciones cuyo objeto sea prestar servicios de almacenamiento, aprovechamiento y/o valorización (incluyendo la recuperación, reciclaje o regeneración), tratamiento y/o disposición final de residuos o desechos peligrosos deben cumplir con las especificaciones descritas en la Tabla 17.

Tabla 17. Especificaciones de operación y mantenimiento para el tratamiento y/o aprovechamiento de residuos cortopunzantes

Generación de gases, partículas y olores	No deben presentar salidas de gases o llamas por las puertas de cargue.
	No deben presentar salidas de gases por la puerta de extracción de cenizas.
	El polvo seco encontrado en el sitio donde se hará el mantenimiento debe ser removido con aspiradoras tipo G.
	Contar con un sistema de ventilación y extracción adecuado, que controle la emisión de olores mediante trampas y sistemas de adsorción.
	Contar con sistemas de monitoreo continuo para la obtención de los datos horarios de los contaminantes establecidos en la Tabla 29 y Tabla 30 de la Resolución 909 de 2008.
	Control y monitoreo semestral mediante una caracterización compuesta.

Generación de cenizas	Contenido orgánico inferior o igual al 5%.	
	Deben ser dispuestas en rellenos de seguridad o encapsuladas de tal forma que no lixivien sus contenidos lo cual debe asegurarse mediante el análisis de TCLP.	
Prevención de impactos ambientales o riesgos al personal	Contar con sistema de prevención y control de incendios (extintores de CO_2).	
	El área contaminada y la de descontaminación deben ser de uso restringido.	
	Las paredes metálicas exteriores no deben llegar a 100 °C aun en trabajo continuo.	
	La zona operativa y de almacenamiento de materiales debe ser cubierta y con cerramiento físico.	
	Contar con sistema de drenaje para el control de las aguas lluvias y escorrentía subsuperficial y sistema de recolección tratamiento de lixiviados.	
Operación	Expedir al generador una certificación, indicando que ha concluido la actividad de termodestrucción, reportando tipo de residuo, cantidad, procedencia, fecha de incineración y condiciones de operación.	
	Las instalaciones de incineración deben contar con licencia ambiental atmosféricas según el caso ante la autoridad ambiental.	
	Contar con personal que tenga la formación y capacitación adecuada para el manejo de RESPEL.	
	Contar con el respectivo diagrama de flujo del proceso incluida la: recepción, pesaje y registro.	
	Contar con las siguientes áreas de operación:	Recepción.
		Pesaje.
		Selección y clasificación.
		Procesos para materiales aprovechables.
		Procesos para materiales de rápida biodegradación.
	Contar con instrumentos de pesaje debidamente calibrados de acuerdo con la normatividad vigente.	
	Las instalaciones de incineración deben realizar una prueba de quemado con el fin de determinar las cargas de alimentación, la capacidad, la eficiencia de destrucción del residuo peligroso, el tipo de residuos y/o desechos peligrosos que podrán ser tratados en la instalación.	
	El tiempo de retención en la cámara de poscombustión para las instalaciones de incineración de residuos y/o desechos peligrosos debe ser igual o superior a dos (2) segundos.	
	Estar vinculado al servicio público de aseo como usuario, para efectos de la presentación y entrega de los residuos de rechazo con destino a disposición final.	

	Los residuos entregados al prestador del servicio deberán ser pesados entregando al prestador el registro de las cantidades presentadas.

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Elaboración propia (2016)

Las autoridades ambientales deben poner en conocimiento del público en general, el listado de receptores o instalaciones autorizadas para el almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento y/o valorización y disposición final de residuos o desechos peligrosos en su jurisdicción.

5.3 Lineamientos técnicos de la disposición final

El decreto 1076 de 2015 prohibe la disposición o enterramiento de residuos o desechos peligrosos en sitios no autorizados para esta finalidad por la autoridad ambiental competente; también se prohible el abandono de RHS en vías, suelos, humedales, parques, cuerpos de agua o en cualquier otro sitio.

Para la disposición de los RHS en relleno sanitario, se requiere que éstos no presenten riesgo biológico según los parámetros de la Tabla 18.

Tabla 18. Estándares máximos de microorganismos

Microorganismos	Límite máximo
Hongo moniliform proliferating	ND
Bacillus subtilis	ND
Bacillus stearothermophilus	ND
Enterococcus faecalis	ND
Mycobacterium tuberculosis hominia	ND
Herpesvirus	ND
Poliovirus	ND
Staphilococus aureus	ND
Pseudomona aeruginosa	ND

ND No detectable

Fuente: KOTCH, R. SANITEC INDUSTRIES INC., Citado por MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Manual de procedimientos para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares. 2002. ISBN 958-9487-37-8. p. 52.

La caracterización de estos parámetros se debe realizar como mínimo sobre muestras de residuos correspondientes a 10 %[63] de los ciclos de uso del equipo al mes.

[63] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, MINISTERIO DE SALUD. Manual de procedimientos para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares en Colombia. Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente. 2002. ISBN 958-9487-37-8. p. 51.

La resolución 1164 de 2002 establece además que los residuos cortopunzantes deben ser triturados antes de ser enviados directamente a relleno sanitario o a plantas de fundición para ser reciclados.

Las instalaciones cuyo objeto sea prestar servicios de almacenamiento, aprovechamiento y/o valorización (incluyendo la recuperación, reciclaje o regeneración), tratamiento y/o disposición final de residuos o desechos peligrosos deben cumplir con las especificaciones descritas en la Tabla 20 que apliquen a este tipo de servicios.

6 REVISIÓN DE TECNOLOGÍAS Y EQUIPOS DISPONIBLES EN COLOMBIA

La identificación de tecnologías disponibles en Colombia para el aprovechamiento del acero contenido en los RHS, se realizó consultando con varias empresas a nivel nacional que cuentan con las instalaciones y equipos necesarios para operativizar el aprovechamiento del acero proveniente de los residuos cortopunzantes. Como resultado de esta consulta se identificaron las siguientes tecnologías y equipos disponibles:

6.1 Desactivación de Alta Eficiencia o Esterilización

ECOCAPITAL cuenta con un equipo autoclave capaz de mantener durante un tiempo específico condiciones estables de temperatura y presión mediante vapor de agua saturada generado por una caldera. Las especificaciones técnicas del equipo se describen en la Tabla 19.

Tabla 19. Especificaciones técnicas del equipo autoclave de ECOCAPITAL

Días de funcionamiento (días/mes)	30
Horas de funcionamiento (horas/día)	24
Capacidad de tratamiento (kg/h)	1.200
Reducción de volumen	40%
Duración de ciclos (min)	45 - 60
Temperatura (°C)	145

Fuente: SDA[64]. Elaboración propia (2016)

[64] SDA. Informe sobre planta de tratamiento de residuos infecciosos o de riesgo biológico correspondiente al primer semestre de 2009 del expediente DM-07-05-154.

Como se mencionó en el capítulo 4, este equipo se utiliza actualmente para tratar una parte de los residuos cortopunzantes y se considera una de de las tecnologías viables para el tratamiento para estos residuos debido a su capacidad, como se calcula a continuación:

$$\left(\frac{1.200kg}{h}\right)\times\left(\frac{1ton}{1.000kg}\right)\times\left(\frac{24h}{día}\right)\times\left(\frac{30días}{mes}\right)\times\left(\frac{12meses}{año}\right)=\frac{10.368ton}{año}$$

Según lo expuesto en los numerales 4.1 y 4.2, no todos los residuos cortopunzantes se están tratando por termodestrucción y algunos ESS cuentan con autoclave para realizar la esterilización a los residuos cortopunzantes que generan. Al consultar con la Dirección de Asuntos Ambientales del MADS, se confirmó que en algunos ESS se está haciendo el tratamiento de los residuos cortopunzantes y biosanitarios por medio de autoclave, pero no se reporta cuántos y cuáles de estos establecimientos cuentan con esos equipos, debido a que esta información es confidencial y no puede ser suministrada por la SDS.

El control del proceso de esterilización se efectúa mediante la verificación del resultado de las tres pruebas: Bioindicador o Biomarcadores, Test de Bowe & Dick e Integradores de Esterilización. El equipo requerido para el bioindicador es una incubadora EZtest Incubator de 12 posiciones, ésta se utiliza para verificar el crecimiento en la población de Bacilo Stearothermophilus durante 24 horas posterior al inicio de su incubación. Las otras pruebas tienen resultados inmediatos y no requieren de equipo adicional para su análisis.

Estas pruebas son realizadas como un factor operativo de revisión de los parámetros de control, que corrobora que las condiciones de presión y temperatura cumplen con la esterilización del 99,9 % del material tratado por éste método.

6.2 Recolección y/o transporte

Una vez los residuos cortopunzantes son esterilizados mediante autoclave con una efectividad del 99,9 %, éstos no presentan riesgo biológico. Sin embargo, la presencia de material cortopunzante puede ocasionar lesiones a los operarios que

lo manipulan y los elementos cortopunzantes pueden quedar reconocibles, a pesar de estar encapsulados, propiciando su reutilización si llegan a manos equivocadas.

De acuerdo con el contrato de concesión 186 E de 2011, la única empresa autorizada para transportar los residuos de este tipo en Bogotá es ECOCAPITAL, por lo cual los vehículos disponibles para realizar el transporte de este material desde la base de operaciones de ECOCAPITAL hasta el PTALS y el RSDJ son los que se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Especificaciones de los vehículos de ECOCAPITAL para recolección de RHS

Referencia	Capacidad neta (ton)	Cantidad	Fotografía	Equipamiento
IVECO Daily 65C14 tipo furgón con plataforma de cargue (a gas)	1,5	4		• Equipos de comunicación y geoposicionadores satelitales (GPS). • Monocasco, isotérmico thermopanel refrigerado para mantener la temperatura interior del furgón. • Sistema de contención de lixiviados. • Luces germicidas en el interior de los furgones.
IVECO Eurocargo 100E18 tipo furgón con plataforma de cargue	3,5	8		
IVECO Trakker 230T33 tipo Ampliroll	18	1		• Equipos de comunicación y geoposicionadores satelitales (GPS).

Fuente: ECOCAPITAL S.A. E.S.P. [65]. Elaboración propia (2016)

[65] ECOCAPITAL S.A. E.S.P. ECOCAPITAL [diapositivas]. Bogotá: ECOCAPITAL S.A. E.S.P. 51 dispositivas, color.

El tiempo en transporte de los residuos no supera las 12 horas, en promedio los recorridos son de 67 km/ruta·día y el promedio de recolección diaria es de 27 ton/día[65].

6.3 Separación

Se contactaron varias empresas ubicadas en Bogotá que gestionan el reciclaje de acero, incluyendo SPOLIA, SCRAPCOL y SERBIODEGRADABLES. Éstas no cuentan con equipos especializados para la trituación de residuos cortopunzantes para separar el acero, puesto que solamente realizan el almacenamiento y acopio de los residuos de acero (chatarra) previamente separados y en condiciones aptas para fundirlos y reincorporarlos a la fabricación de productos de acero.

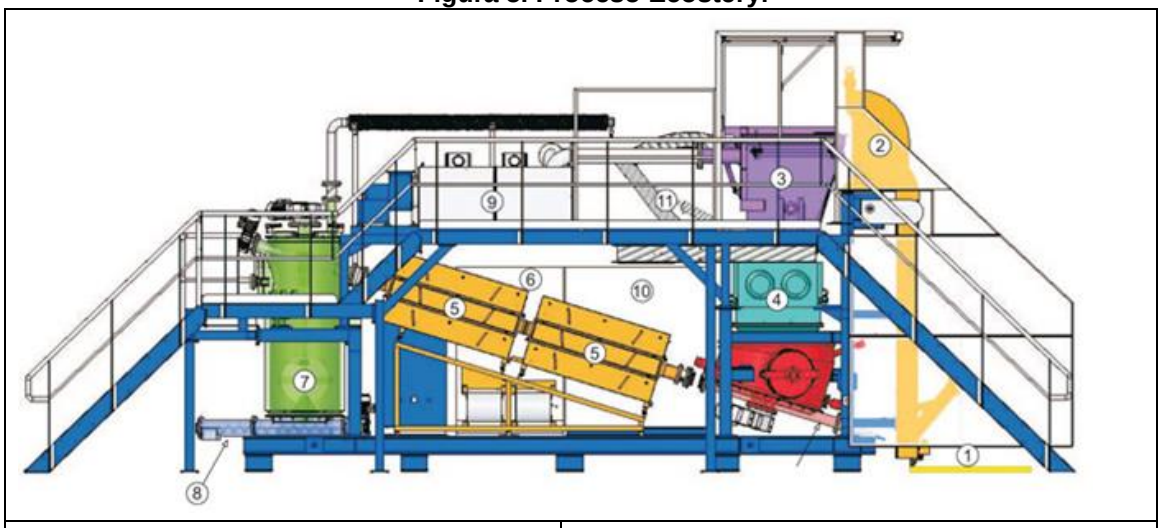
No obstante, se encontró que existen empresas como LITO LTDA., que cuentan con equipos de procesamiento de cables para separar el cobre, los cuales podrían aplicarse a la trituración y separación del acero de los residuos cortopunzantes. Esta firma cuenta con molinos y mesas de separación gravimétrica, que podría lograr la separación del acero mediante la diferencia de densidad (gravimetría) entre los materiales que componen los residuos cortopunzantes previamente esterilizados. Es importante aclarar que debido a las propiedades físicas de los residuos cortopunzantes, pueden requerirse modificaciones a estos equipos, cuyo diseño está hecho originalmente para triturar y separar el cobre de los cables.

De esta forma, no se identifica la existencia en Colombia de tecnologías apropiadas para la separación y trituración del acero de los residuos cortopunzantes, a pesar de que la normatividad aplicable deja abierta la posibilidad de reciclar este material siempre y cuando éste sea esterilizado y triturado, según lo expuesto en el Capítulo 5.2.

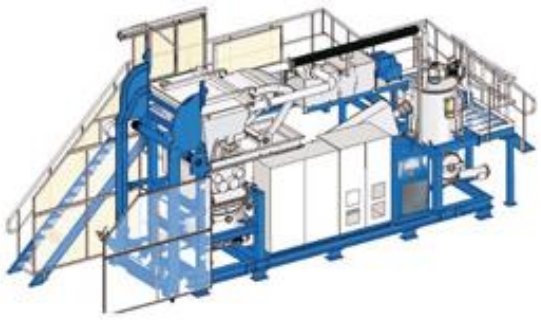
En países tales como Bélgica, Francia, Italia, Canadá y Malasia se ha implementado una tecnología patentada por la empresa AMB denominada Ecosteryl (Figura 5), cuyos equipos y procedimientos de trituración de los residuos cortopunzanes han sido considerados como alternativas por parte del MADS. Se conoce que el Grupo

SALA – Soluciones de Saneamiento Ambiental (SAAM) S.A. E.S.P. ya ha implementado esta tecnología en la ciudad de Yumbo, Valle del Cauca.

Figura 5. Proceso Ecosteryl



1. Pesaje electrónico.
2. Sistema de manejo o manipulación.
3. Tolva de carga o alimentación.
4. Triturador de 4 ejes 37kW
5. Túnel de microondas
6. Generadores de microondas.
7. Tolva de descarga.
8. Tornillo de salida.
9. Compratimiento de tratamiento de aire (lavado de gases).
10. Sistema de automatización.
11. Dispositivo de empuje hidráulico.



Fuente: AMB ECOSTERY[66]. Adaptado por el autor (2016)

De acuerdo con la información suministrada por la empresa AMB, el tratamiento de RHS mediante esta tecnología es el descrito a continuación:

- Pesaje, manipulación y carga: se instala un contenedor en el sistema de manipulación (2), el cual eleva el contenedor y vierte su contenido en la tolva de alimentación (3), una vez realizado su pesaje (1). Todas estas operaciones son automatizadas.

- Con la ayuda de un cilindro hidráulico, la tolva de alimentación se abre automáticamente cuando llega el contenedor. La tolva cuenta con un extractor

[66] ENVIIRONMENTAL-EXPERT. AMB Ecosteryl Equipment in Colombia. Recuperado el 02 de abril de 016, del sitio Web de ENVIIRONMENTAL-EXPERT: http://www.environmental-expert.com/products/location-colombia/brand-amb-ecosteryl.

de aire (únicamente la serie 250 de AMB Ecosteryl) que crea una depresión cuando se abre para evitar la propagación de particulas en el aire. El flujo de aire se lava, desinfecta, desodoriza y se filtra por medio de un tratamiento con carbón activado (9) y posteriormente se expulsa al exterior. La producción de aire tratado es de 250 m^3/h.

- Trituración: una vez se cierra la tapa de la tolva de alimentación, un brazo hidráulico (11) ejerce presión gradualmente sobre el contenido depositado y es así como se activa la trituradora de 37 kW (4), cuya parte inferior cuenta con una rejilla para obtener un material triturado homogéneo (pellets) con un tamaño inferior a 20 mm. La trituradora incluye un dispositivo antibloqueo (control de intensidad), que cambia la dirección de operación de los dos motores que hace rotar a cada uno de los ejes, en caso de bloqueo.

- Los residuos ya homogéneos pasan a una tolva ubicada bajo la trituradora antes de pasar al tornillo de transferencia, que conduce los residuos a la segunda fase del tratamiento.

- Microondas: el tornillo de transferencia tiene un diseño en espiral, para llevar los residuos por el túnel de microondas que se calienta hasta una temperatura de 100 °C. El tiempo necesario para recorrer completamente este túnel es de 3 minutos.

- Este túnel (5 - 6) está compuesto por 2 cámaras de 12 kW (la serie 125 solo tiene una cámara). Cada cámara contiene 6 magnetrones de 2 kW cada uno. Cada cámara utiliza las microondas en modo estéreo con una polarización controlada del campo durante un receso especialmente adaptado. Esto hace que sea posible calentar los residuos desde su núcleo con un aumento rápido y uniforme de la temperatura.

- El sistema incluye un medidor de temperatura a la salida del túnel para comprobar la calidad del tratamiento, y un sistema de control ajusta el funcionamiento del equipo con el fin de mantener el equilibrio entre la potencia de las microondas y la velocidad del tornillo.

- Tratamiento final y salida: los residuos entran en una tolva con aislamiento térmico (7) donde los residuos permanecen durante una hora para que la desinfección se complete satisfactoriamente. La temperatura se mantiene mediante resistencias eléctricas y al final del proceso los residuos esterilizados salen del equipo a través de un tornillo externo tipo espiral (8) y se depositan en un contenedor.

Los equipos Ecosteryl cuentan con un controlador programable con pantalla táctil (10) permite efectuar la operación automática y el seguimiento en tiempo real, así como el control y almacenamiento de los parámetros de operación. Sus especificaciones técnicas varían según el modelo (Tabla 21).

Tabla 21. Especificaciones técnicas de equipos Ecosteryl

Modelo		Capacidad		Dimensiones			Espacio del piso		Consumo de energía (kWh/ton)
		Tratamiento (kg/h)	Volumen (L)	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Ancho (m)	
75		100	1.200	4,5	4,5	3	5	5,5	300 – 400
125		175	2.100	10	3,5	5,2	6	12	345 – 480
250		300	3.600	12	3,5	5,2	6	15	345 – 480
75 Plus		100	1.200	5,5	4,5	5	6	6,5	320 - 427

Fuente: ENVIRONMENTAL-EXPERT[67]. Elaborado por el autor (2016)

[67] Ibid.

A pesar de que aún no se ha aplicado esta tecnología en Bogotá, las empresas Soluciones de Saneamiento Ambiental (SAAM) S.A. de la ciudad de Cali y Aseo Urbano S.A. E.S.P. de la ciudad de Cúcuta, iniciarán proximamente la implementación de esta tecnología, según al firma representante de AMB en Colombia, Internacional de Maquinaria y Proyectos (IMAPROK) S.A.S.

6.4 Aprovechamiento

Se identificó una planta de fundición de acero en la Autopista Norte (vía Bogotá - Tunja) km 30, Vereda Canavita del municipio de Tocancipá. Esta planta es operada por la empresa METACOL S.A. (en adelante METACOL), se encuentra aproximadamente a 62,5 km (1 hora y 20 minutos) [68] de la base de operaciones de ECOCAPITAL). Sin embargo, esta planta no cuenta con equipos de trituración y separación del acero.

La producción de la planta de METACOL cuenta con dos (2) hornos de inducción con capacidad fusión de 2 ton/hora[69] de metal líquido para la producción de aleaciones ferrosas fundidas (Imagen 6), como productos de hierro nodular; gris y aceros de baja, mediana y alta aleación. Así mismo, esta planta cuenta con capacidad de producir piezas en acero hasta de 1,5 ton y en hierro hasta 3 ton[69].

[68] GOOGLE. Google Earth. [programa de computador]. Google Inc. v. 7.1.5.1557.

[69] METACOL S.A. Planta de producción. Recuperado el 11 de enero de 2016, del sitio Web de METACOL S.A.: http://www.metacol.com/metacol/planta-de-produccion.

Imagen 6. Hornos de inducción de METACOL

Fuente: El autor (2016)

Por otro lado, la planta industrial de la Siderúrgica Nacional (SIDENAL) S.A. (Imagen 7), localizada en el municipio de Sogamoso, Boyacá (aproximadamente a 228 km, 4 horas[68] de la base de operaciones de ECOCAPITAL), cuenta con una planta Recuperación y Conversión Energética (RYCE) que permite la recuperación de materiales y transformación de residuos a combustibles sintéticos que son empleados en los procesos de manufactura, cuya finalidad es recuperar pequeñas fracciones de metales, separarlos para su clasificación y mediante la tecnología de pirolisis transformar los compuestos orgánicos (fibras, cauchos, plásticos y bio masa), en gas, aceite y coque sintético. Esta planta alcanza una producción de 200 ton/día (73.000 ton/año)[70], capacidad suficiente para procesar el acero del material cortopunzante generado en Bogotá.

[70] SIDENAL S.A. Recursos Hídricos y Sólidos. Recuperado el 14 de agosto de 2016, del sitio web de SIDENAL S.A.: http://www.sidenal.com.co/recursos-hidricos-y-solidos/

Imagen 7. Planta de aprovechamiento de metales de SIDENAL

Fuente: SIDENAL S.A. De chatarra a combustibles. Recuperado el 14 de agosto de 2016, del sitio web de SIDENAL S.A.: http://www.sidenal.com.co/de-chatarra-a-combustibles/

7 VIABILIDAD DEL APROVECHAMIENTO DEL ACERO DE LOS RHS EN BOGOTÁ

En este capítulo se presenta un análisis de la viabilidad de aprovechar el acero contenido en los RHS en la ciudad de Bogotá, a la luz del marco normativo, los requisitos técnicos la disponibilidad de tecnologías, y a partir de la comparación de costos de la gestión actual con los costos que implicaría el aprovechamiento del acero contenido en los RHS en Bogotá, para una alternativa propuesta.

7.1 Análisis del marco normativo para el aprovechamiento

De acuerdo con lo descrito en el capítulo 5, los RHS que contengan cortopunzantes requieren ser esterilizados y triturados, ya sea para su aprovechamiento, o para su disposición final en un relleno sanitario. Lo anterior obedece a que, por una parte, los operarios que manipulan este material podrían estar expuestos al riesgo de infección o a sufrir lesiones; y por otra, estos residuos podrían representar un riesgo biológico en los sitios de disposición final.

Según el MPGIRHS, la esterilización de alta eficiencia puede hacerse con 7 tipos de procedimientos diferentes, lo que facilita al generador seleccionar el que mejor se ajuste a sus necesidades.

A pesar de que ECOCAPITAL es la única empresa que tiene concesión otorgada por la UAESP para la recolección y transporte, tratamiento y disposición final de RHS en Bogotá, no es la única empresa habilitada para el tratamiento de éstos. En Cundinamarca se encuentran 4 empresas que cuentan con la capacidad técnica, licencias y permisos para gestionar la esterilización residuos cortopunzantes mediante autoclave: INCINERADORES B.O.K. S.A., INTERASEO S.A., ECOLOGÍA Y ENTORNO (ECOENTORNO) S.A. E.S.P., PROSARC. Sin embargo, éstas no cuentan con licencias y permisos para la recolección y/o transporte de RHS, lo que hace que las posibilidades de aplicar otros tipos de tratamientos alternativos a la termodestrucción o a la autoclave, se limiten al tipo de tratamientos y capacidad de los equipos que establece la concesión con ECOCAPITAL (Contrato No. 186 de 2011).

Por otro lado, el tipo de recipiente en el que deben segregarse, almacenarse y entregarse los residuos cortopunzantes para su posterior entrega al gestor externo de RHS, debe cumplir con las especificaciones descritas en el numeral 5.1. En ese sentido, los recipientes que se usan en la actualidad están hechos de Polipropileno (PP), como el que se presenta en la Imagen 8. Sin embargo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) aprueba la utilización de recipientes de cartón (Imagen 9) siempre y cuando éstos sean dispuestos una vez sean usados y puedan resistir temperaturas de hasta 170 °C para períodos de 30 minutos, y sin escape de residuos si se llenan hasta alcanzar su capacidad máxima[71].

[71] OMS. PQS performance specification. Safety box for the disposal of used sharps. OMS. 2007. PQS-E10-SB01. p. 5.

Imagen 8. Recipiente plástico para segregación de residuos cortopunzantes

Fuente: CITY OF RIVERSIDE, FONTANA PUBLIC WORKS DEPARTMENT Y INLAND HEALTH SUPPLIES. Adaptado por el autor (2016)

Imagen 9. Recipiente de cartón para segregación de residuos cortopunzantes

Fuente: SOCIEDAD COMERCIAL IMPLEMENTOS MÉDICOS LIMITADA (IMPLEMED). Adaptado por el autor (2016)

Los recipientes de cartón podrían facilitar la extracción de los elementos de acero que hacen parte de los residuos cortopunzantes, puesto que en caso de esterilizarlos mediante autoclave, los residuos no quedarían atrapados dentro del recipiente porque el cartón no se deforma con el calor húmedo del interior de la cámara, caso contrario al PP que a temperaturas superiores a 120 °C[72] se deforma y entre los 165 y 177 °C[72] alcanza su punto de fusión, lo que ocasiona la deformación del recipiente y que el material cortopunzante de acero quede atrapado.

Es importante aclarar que el 13 de febrero de 2015, el MADS hizo la consulta pública de la propuesta para actualizar del MPGIRHS conforme a lo establecido en el decreto 351 de 2014. Este documento se denomina “Proyecto de manual para la gestión integral de residuos generados en la atención de salud y otras actividades” y establece que “en caso que se utilice un polipropileno de alta densidad u otro polímero deberá garantizarse que no contenga PVC, ni metales pesados.”, lo que

[72] UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO. Polipropileno homopolímero isotactico. Departamento de mecánica aplicada y estructuras - facultad de ciencias exactas, ingeniería y agrimensura. Rosario, Argentina: 2002. p. 6.

permite interpretar que podría quedar abierta la posibilidad de usar recipientes de otro material que cumplan con las demás especificaciones descritas en ese manual. Sin embargo, a la fecha no se ha emitido el acto administrativo mediante el cual se establezca el obligatorio cumplimiento de los lineamientos que presenta el documento.

Finalmente, aun cuando las cenizas que se llevan al relleno sanitario presentan resultados de la prueba TCLP acordes a los estándares de peligrosidad establecidos por decreto 1076 de 2015, éstas se siguen tratando como RESPEL por su característica cortopunzante y por consiguiente, se disponen una celda de seguridad dentro del RSDJ o en la del PTALS, lo que elimina la posibilidad de recuperar el acero que se encuentra en las cenizas dispuestas ahí según la ley 253 de 1996.

En resumen, las restricciones técnicas a la luz de la normatividad aplicable para el aprovechamiento acero de residuos cortopunzantes son:

- Los residuos deben ser esterilizados y triturados antes de recuperarles mediante algún proceso de reciclaje o disponerlos directamente en un relleno sanitario.
- El acero que se encuentra en las cenizas dispuestas en relleno o celda de seguridad no se puede recuperar.
- El transporte de residuos cortopunzantes y de las cenizas solo puede hacerlo la empresa que cuenta con concesión por parte de ECOCAPITAL.
- Los recipientes que pueden utilizar los ESS de Bogotá, son los que cumplan con las características definidas en el MPGIRHS; es decir, actualmente no se pueden utilizar recipientes de cartón, que serían más convenientes para el aprovechamiento del acero contenido en los RHS.

7.2 Selección de una alternativa de aprovechamiento

Con el propósito de seleccionar una alternativa de aprovechamiento del acero contenido en los RHS en Bogotá, se realizó un análisis comparativo de las diferentes alternativas que podrían aplicarse en la ciudad de Bogotá. La alternativa propuesta se planteó a partir del siguiente análisis:

La esterilización o desactivación de alta eficiencia (i.e. autoclave de calor húmedo), a pesar de que se encuentra disponible en las instalaciones de ECOCAPITAL, requiere de dos operaciones unitarias, trituración y separación electromagnética, para recuperar el acero de los residuos cortopunzantes, incluyendo una unidad de trituración especial para este tipo de residuos que no se encuentra en el mercado a nivel nacional. Las que se comercializan en otros países cuentan con una unidad de tratamiento de desactivación integrada, lo que haría innecesario el tratamiento con autoclave. Adicional a lo anterior, esta alternativa podría facilitar el transporte de los residuos cortopunzantes debido a que éstos quedan encapsulados dentro del guardián que se deforma al someterse a la temperatura del autoclave, como se mencionó anteriormente en el numeral 7.1.

En cuanto a la hidrólisis alcalina (i.e. digestor de hidrólisis alcalina), pese a que se encuentran estudios sobre sus ventajas técnicas, económicas y ambientales, no se encuentran antecedentes de su aplicación en Colombia; también requeriría de una unidad de trituración especial y de otra unidad para realizar la separación para recuperar el acero de los residuos cortopuzantes. Adicionalmente, esta tecnología requiere de la aplicación de Hidróxido de Potasio - KOH, lo que podría generar un costo adicional y posiblemente una unidad de tratamiento para los remanentes de este reactivo.

De acuerdo con lo anterior, se descartaron la esterilización de alta eficiencia e hidrólisis alcalina y se tuvo en cuenta como tipo de tratamiento alternativo la aplicación de microondas (i.e. Ecosteryl) debido a que éste permite que la desactivación y trituración se desarrollen en la misma unidad, lo que garantiza el cumplimiento de los lineamientos establecidos en la resolución 1164 de 2002

respecto al reciclaje de residuos cortopunzantes, adicionando una unidad de separación electromagnética (tambores o rodillos electromagnéticos), la cual se encuentra disponible en la planta RYCE de SIDENAL S.A.

Adicionalmente la aplicación de microondas con Ecosteryl para el tratamiento de RHS ya se está implementando en Colombia, lo que permite tener un referente para replicar esta tecnología al tratamiento de residuos cortopunzantes generados en Bogotá.

De esta forma, se deteminó como escenarios a comparar los descritos en la Tabla 22.

Tabla 22. Escenarios

Escenario	Tratamiento		Aprovechamiento		Disposición final	
	Tipo	Lugar	Tipo	Lugar	Tipo	Lugar
Actual	Termodestrucción	PTALS	No aplica	No aplica	Celda de seguridad	PTALS
	Esterilización	ECOCAPITAL	No aplica	No aplica	Relleno sanitario	RSDJ
Alternativo	Microondas	ECOCAPITAL	Fundición	SIDENAL	No aplica	No aplica

Fuente: El autor (2016)

7.3 Estimación de costos actuales de la gestión de RHS en Bogotá

A continuación se presenta la estimación de los costos asociados a la gestión actual de RHS en Bogotá. Todos los costos se presentan en pesos colombianos constantes a 2016 (expresados con el signo $).

Las especificaciones de los equipos de termodestrucción disponibles actualmente en la concesión de ECOCAPITAL se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23. Especificaciones de equipos disponibles para termodestrucción de los RHS generados en Bogotá

Parámetro	PROSARC	TECNIAMSA	ECOVILLAGE	ECOCAPITAL
Capacidad (kg/hora)	500	1.000	250	500
Tiempo de residencia cámara de combustión (minutos)	50	45 - 60	90	50*
Consumo de combustible (m^3/hora)	0,02	44	32	0,02*
Cantidad de quemadores	4	4	4	4
Días de funcionamiento (días/mes)	30	30	30	30
Horas de funcionamiento (horas/día)	24	24	24	24

Parámetro	PROSARC	TECNIAMSA	ECOVILLAGE	ECOCAPITAL
Combustible	Gas Licuado de Petróleo (GLP)	Gas Natural (GN)	GN	GN
Consumo de energía eléctrica (kWh/año)	183.529*	367.059*	91.765*	183.529*

*** Datos estimados**

Fuente: TECNIAMSA S.A.[73], CAR[74]. Elaboración propia (2016)

Es importante aclarar que ECOCAPITAL lleva los RHS a cada uno de sus proveedores para tratamiento, según la cantidad y otros factores de tipo técnico y administrativo. Por lo anterior, y según se observa en los registros de entrega de RHS por parte de ECOCAPITAL, no todos los meses se gestiona la termodestrucción de RHS mediante los tres proveedores mencionados (Tabla 24).

Tabla 24. Registro de termodestrucción de RHS de Bogotá entre marzo de 2012 y abril de 2016

Registros		PROSARC			TECNIAMSA			ECOVILLAGE		
		C	DA	A	C	DA	A	C	DA	A
# meses con datos	**Se hizo tratamiento**	51	45	52	31	25	42	1	1	1
	No se hizo tratamiento	1	7	0	14	20	3	36	36	36
# meses sin datos		6	6	6	13	13	13	21	21	21
Total meses		**58**	**58**	**58**	**58**	**58**	**58**	**58**	**58**	**58**

C	Cortopunzantes
DA	De animales
A	Anatomopatológicos

Fuente: ECOCAPITAL[75]. Elaboración propia (2016)

Según las actas de termodestrucción de RHS de ECOVILLAGE, no se presenta de manera discriminada la cantidad de residuos cortopunzantes, de animales y anatomopatológicos, puesto que esta empresa sólo reporta una cantidad total de RHS tratados de 20,1 ton para el mes de abril de 2014, la cual es inferior a las cantidades que en promedio son tratadas por PROSARC (i.e. 87,5 ton) y TECNIAMSA (i.e. 61,2 ton). En ese sentido, y teniendo en cuenta que la gestión a través de ECOVILLAGE se hace en ocasiones particulares (1 mes / 58 meses), para efectos de estimación de costos no se considerará la cantidad tratada a través de esta empresa.

[73] TECNIAMSA S.A.
[74] CAR. Expedientes 27663, 35907, 37828 y 44402.
[75] ECOCAPITAL S.A. E.S.P. Ambiental. Recuperado el 19 de enero de 2016, del sitio Web de ECOCAPITAL: http://www.ecocapital-int.com/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=119.

Vale la pena aclarar que el consumo de combustible y los costos asociados a éste se estimaron asumiendo que la termodestrucción se desarrolla usando solamente el combustible requerido en las cámaras de combustión y postcombustión, a pesar de que en la práctica los RHS se incineran con RESPEL combustibles de alto poder calorífico para optimizar su consumo y así mismo reducir los costos de operación.

Lo anterior, obedece a que los datos referentes a la dieta con la que se operan los hornos de ambas empresas, los cuales se consultaron en los expedientes de la CAR, no especifican las cantidades y las sustancias que componen los RESPEL combustibles.

Con el fin de estimar la cantidad de combustible para la termodestrucción de los RHS, se propone la Ecuación 4.

Ecuación 4. Estimación del consumo de combustible para la incineración de RHS

$$\left.\begin{aligned} C_C &= \frac{C_{CE}}{C_E} \times RHS \\ RHS &= \sum_{i=1}^{n} r_i \end{aligned}\right\} \rightarrow C_C = \frac{C_{CE}}{C_E} \times \sum_{i=1}^{n} r_i$$

Fuente: El autor (2016)

Donde,

C_C: consumo de combustible para el tratamiento de los RHS (gal/año o m^3/año).

RHS: total de residuos tratados en el año según los datos reportados por ECOCAPITAL, PROSARC, TECNIAMSA (kg/año).

r: cantidad de RHS sometidos a termodestrucción en el mes i (kg).

C_{CE}: consumo de combustible del equipo (gal/hora o m^3/hora).

C_E: capacidad de tratamiento del equipo (kg/hora).

Usando los precios unitarios del GLP y GN, se puede estimar el costo asociado al consumo de combustible de la termodestrucción, como se propone en la Ecuación 5.

Ecuación 5. Estimación de costos asociados al consumo de combustible en los equipos de termodestrucción

$$C_{CC} = P_C \times C_C$$

Fuente: El autor (2016)

Donde,

C_{CC}: costo asociado al consumo del combustible ($/año).

P_C: precio unitario del combustible ($/gal o $/m^3).

Las tarifas de combustible para la vigencia del año 2016 son $ 1.377,3 /gal[76] para el GLP y de $ 1.490,7 /m^3[77] para el GN. En ese sentido, aplicando estos valores en la Ecuación 5, se obtiene que para una cantidad de RHS como la del año 2013 (i.e. 1.640 ton), el costo es de $ 57.775.959, como se resume en la Tabla 25.

Tabla 25. Consumo y costos estimados del combustible usado en la termodestrucción de RHS

RHS tratados (ton)			Consumo de Combustible (C_C)		Costo de Combustible (C_{CC})		
PROSARC	TECNIAMSA	Total	PROSARC (gal/año)	TECNIAMSA (m^3/año)	PROSARC	TECNIAMSA	Total
975,7	664,4	1.640	10.311,02	29.231,7	$14.201.362	$43.574.597	$57.775.959

Fuente: Datos suministrados por ECOCAPITAL S.A. E.S.P.. Elaboración propia (2016)

El consumo de combustible para la esterilización de los RHS que se tratan mediante autoclave de calor húmero (i.e. biosanitarios y parte de los cortopunzantes), se estima a partir del consumo de Gas Natural (GN) requerido por la caldera que opera actualmente en ECOCAPITAL, la cual tiene una capacidad de 150 caballos de fuerza de caldera (BHP, en inglés *boiler horsepower*).

Debido a que no se cuenta con información sobre el consumo de combustible del equipo, se realizó una estimación en m^3/hora, teniendo en cuenta que el GN tiene un poder calorífico mínimo 35,4 MJ/m (33.552,7 BTU/m^3)[78] y que según , el consumo

[76] ECOPETROL S.A: Tarifas GLP. Recuperado el 16 de marzo de 2016 del sitio Web de ECOPETROL: http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/precios/precios-vigentes/tarifas-glp/!ut/p/z0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfIjo8ziLQIMHd09DQy93S2DXQwcjUI9Td1CjTzMvU30C7IdFQEk37y0/

[77] GAS NATURAL S.A. E.S.P.: Publicación Abril 2016 - Tarifas reguladas y Cargos de Distribución. Recuperado el 06 de mayo de 2016 del sitio Web de GAS NATURAL: http://www.gasnaturalfenosa.com.co/servlet/ficheros/1297151842027/PublcacionAbril2016-TarifasReguladasyCargoDistribuci%C3%B3n-GasNaturalSAESP.pdf

[78] COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS (CREG). Especificaciones de calidad del gas natural en el punto de entrada del sistema nacional de transporte de gas. Bogotá, 2008. D-062-08. p. 61

de combustible para una caldera requiere de 33,5 BTU/hora·BHP[79], como se presenta en los siguientes cálculos:

$$\frac{(150BHP)\times\left(\frac{33{,}5BTU}{hora\cdot BHP}\right)}{\left(\frac{33.552{,}7BTU}{m^3}\right)}=\frac{0{,}15m^3}{hora}$$

Según los datos reportados por ECOCAPITAL, en el año 2013 se trataron 8.606 ton[80] de RHS por esterilización; aplicando la Ecuación 4 y la información de la Tabla 19, se tiene que el consumo anual de combustible para el tratamiento por esterilización puede llegar a 1.074,1 m^3/año.

$$C_C=\frac{\left(\frac{0{,}15m^3}{hora}\right)}{\left(\frac{1.200kg}{hora}\right)\times\left(\frac{1ton}{1.000kg}\right)}\times\left(\frac{8.606ton}{año}\right)=\frac{1.074{,}1m^3}{año}$$

Aplicando la Ecuación 5, se tiene que el costo anual asociado al consumo de GN requerido en la operación de la autoclave es de $ 1.601.059 por año.

$$C_{CC}=\left(\frac{1.074{,}1m^3}{año}\right)\times\left(\frac{\$1.490{,}7}{m^3}\right)\approx\frac{\$1.601.059}{año}$$

Con base en lo expuesto la Tabla 20, la distancia recorrida, consumo de combustible y costos asociados se estimaron mediante las siguientes ecuaciones:

Ecuación 6. Distancia recorrida para transportar RHS al lugar de tratamiento y disposición final

$$\left.\begin{array}{l} D=R\times V \\ V=\frac{RHS}{C}\end{array}\right\}\rightarrow D=R\times\frac{RHS}{C}$$

Fuente: El autor (2016)

[79] ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES L.A. Vitalizer. Recuperado el 16 de mayo de 2016 del sitio Web de ENVIRONMENTAL TECHONOLOGIES: http://envirotech-la.com/sites/default/files/RFolletoVitalizer.pdf
[80] ECOCAPITAL S.A. E.S.P. ECOCAPITAL [diapositivas]. Bogotá: ECOCAPITAL S.A. E.S.P. 51 dispositivas, color.

Donde,

D: distancia total recorrida por el vehículo (km/año).

R: distancia total recorrida por el vehículo durante un viaje (km/viaje).

V: número total de viajes realizados por el vehículo (viajes/año).

RHS: cantidad de RHS transportados (ton/año).

C: cantidad de RHS que puede transportar el vehículo (ton/viaje).

Ecuación 7. Consumo total de combustible para transportar los RHS al lugar de tratamiento y disposición final

$$C_C = D \times C_D$$

Fuente: El autor (2016)

Donde,

C_C: cantidad total de combustible consumido (Diésel o A.C.P.M.) para transportar los RHS (gal/año).

C_D: consumo de Diesel o A.C.P.M. requerido por el vehículo (gal/km).

Ecuación 8. Costo de combustible para transportar los RHS al lugar de tratamiento y disposición final

$$C_{TC} = C_C \times P_C$$

Fuente: El autor (2016)

Donde,

C_{TC}: costo total por consumo de Diesel o A.C.P.M. ($/año).

P_C: precio unitario del combustible ($/gal o $/m^3).

La distancia entre la base de operaciones de ECOCAPITAL y el PTALS es de 18,4 km de ida y 15,8 km de regreso[81], con lo que se estima que un vehículo con capacidad de 3,5 ton (i.e. IVECO Eurocargo 100E18) que viaja a una velocidad de

[81] GOOGLE. Google Earth. [programa de computador]. Google Inc. v. 7.1.5.1557.

aproximadamente 30 km/h, tendría que realizar 469 viajes al año, según los siguientes resultados:

$$\left.\begin{array}{l} V = \dfrac{\left(\dfrac{1.640ton}{año}\right)}{\left(\dfrac{3,5ton}{viaje}\right)} \approx \dfrac{469viajes}{año} \\ R = \overbrace{\underbrace{(18,5km)}_{Ida} + \underbrace{(15,8km)}_{Regreso}}^{1\,Viaje} = \dfrac{34,2km}{viaje} \end{array}\right\} \rightarrow D = \left(\dfrac{34,3km}{viaje}\right) \times \left(\dfrac{469viajes}{año}\right) = \dfrac{16.072,4km}{año}$$

De acuerdo con las especificaciones técnicas de los vehículos IVECO Eurocargo 100E18, el consumo de combustible es de aproximadamente 14 L/100 km[82]. Por otro lado, según las tarifas de ECOPETROL S.A. para el Diesel, el valor unitario es de $ 7.237,6/gal[83]. En ese setido, se obtiene un consumo de Diesel de 592,1 gal/año y un costo total de $ 4.285.692/año asociado al consumo de combustible para transportar los RHS al lugar donde se hace la termodestrucción según los siguientes cálculos:

$$C_C = \left(\frac{16.072,4km}{año}\right) \times \left(\frac{14L}{100km}\right) \times \left(\frac{1gal}{3,8L}\right) = \frac{592,1gal}{año}$$

$$C_{TC} = \left(\frac{592,1gal}{año}\right) \times \left(\frac{\$7.237,6}{\text{gal}}\right) \approx \frac{\$4.285.692}{año}$$

Por otro lado, los residuos tratados por esterilización se disponen en el RSDJ, para lo cual se requiere de otra ruta que desde la base de operaciones de ECOCAPITAL hasta el RSDJ cuya distancia es de 28,8 km de ida y 28,5 km de regreso[84], por lo cual, mediante la Ecuación 7 y la Ecuación 8, se obtiene que el consumo de combustible y costo asociado pueden llegar a 1.658,2 gal/año y $ 12.001.167/año, respectivamente.

[82] MINISTERIO DE FOMENTO, MINISTERIO DEL INTERIOR Y MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. Guía para la gestión del combustible en las flotas de transporte por carretera. Madrid, España: 2006. p. 43

[83] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME):. Indicadores. Recuperado el 13 de junio de 2016 del sitio Web de UPME: http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Indicador.aspx?IdModulo=3&ind=9

[84] GOOGLE. Google Earth. [programa de computador]. Google Inc. v. 7.1.5.1557.

Con base en la proyección de costos de operación de equipos de incineración propuesta en la tesis “Evaluación técnica, ambiental y financiera de la alternativa seleccionada para el tratamiento de residuos infecciosos con énfasis en residuos anatomopatológicos”, el consumo de energía eléctrica relacionado directamente con la operación de un equipo de termodestrucción de ACS-ASC de 680 kg/h de capacidades de 249.600 kWh/año[85], con lo cual si se hace una relación entre el consumo de energía de este equipo y su capacidad de operación, se estima que el horno de PROSARC genera un consumo de 183.529,4 kWh/año y el de TECNIAMSA un consumo de 367.058,8 kWh/año, según los siguientes cálculos:

Consumo de energía eléctrica PROSARC: $\left(\frac{500kg}{h}\right)\times\frac{\left(\frac{249.600kWh}{año}\right)}{\left(\frac{680kg}{h}\right)}=\frac{183.529,4kWh}{año}$

Consumo de energía eléctrica TECNIAMSA: $\left(\frac{1.000kg}{h}\right)\times\frac{\left(\frac{249.600kWh}{año}\right)}{\left(\frac{680kg}{h}\right)}=\frac{367.058,8kWh}{año}$

De acuerdo con lo anterior, y tomando como referencia el valor unitario vigente de la energía eléctrica en Colombia, (*i.e.* $495,5/ kWh[86]) se tiene que los costos asociados al consumo de energía eléctrica para el proceso de termodestrucción pueden llegar a $ 230.311.044/año:

$$\left[\left(\frac{183.529,4kWh}{año}\right)+\left(\frac{367.058,8kWh}{año}\right)\right]\times\left(\frac{\$495,5}{kWh}\right)\approx\frac{\$230.310.398}{año}$$

De acuerdo con la visita realizada a las instalaciones de TECNIAMSA y los datos técnicos de los hornos incineradores, estos equipos son operados por 2 personas

[85] RODRÍGUEZ, Gerson Leandro y CARREÑO, David Leonardo. Evaluación técnica, ambiental y financiera de la alternativa seleccionada para el tratamiento de residuos infecciosos con énfasis en residuos anatomopatológicos. Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá D.C.: Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. 2014. p. 70-72.

[86] CODENSA S.A. Tarifas de energía CODENSA. Recueprado el 08 de mayo de 2016 del sitio Web de CODENSA: https://www.codensa.com.co/hogar/tarifas.

(i.e. 1 operario y 1 auxiliar) y funcionan las 24 horas del día en 3 turnos de 8 horas, para lo que se requiere de la contratación de 3 operarios y 3 auxiliares.

Para la vigencia del año 2016, el Salario Mínimo Mensual Legal Vigente (SMMLV) es de $ 689.455[87] y según la resolución 038 de 2005, se estima que el costo asociado al personal requerido para la operación de los hornos de PROSARC y TECNIAMSA es $ 124.101.900/año, teniendo en cuenta una que para el cargo de operario se requiera un técnico de Categoría 6 y para el cargo de auxiliar un no profesional de Categoría 7, como se describe en los siguientes cálculos:

$$\underbrace{(3operarios)}_{Categoría6}\times\left(\frac{3SMMLV}{operario}\right)=9SMMLV=\frac{\$6.205.095}{mes}$$

$$\underbrace{(3auxiliares)}_{Categoría7}\times\left(\frac{2SMMLV}{auxiliar}\right)=6SMMLV=\frac{\$4.136.730}{mes}$$

$$\rightarrow\underbrace{(2hornos)}_{PROSARC+TECNIAMSA}\times\left[\left(\frac{\$6.205.095}{mes}\right)+\left(\frac{\$4.136.730}{mes}\right)\right]\times\left(\frac{12meses}{año\cdot horno}\right)=\frac{\$124.101.900}{año}$$

Para la operación de la autoclave de calor húmedo que opera en la base de operaciones de ECOCAPITAL, el personal requerido es de 2 operarios que trabajan en turnos de 8 horas durante las 24 horas al día (i.e. operario de autoclave y operario de montacargas), lo cuales para este caso se asumirán como técnicos o no profesionales de categoría 6.

En ese sentido, y teniendo en cuenta que el total de personal requerido para cubrir los 3 turnos es de 6 operarios, el costo asociado al personal operativo para el transporte es de $ 148.922.280/año según los siguientes cálculos:

$$(6operarios)\times\left(\frac{3SMMLV}{operario}\right)=18SMMLV=\frac{\$12.410.190}{mes}$$

$$\rightarrow\left(\frac{\$12.410.190}{mes}\right)\times\left(\frac{12meses}{año}\right)=\frac{\$148.922.280}{año}$$

[87] COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. Decreto 2552 de 30 de diciembre de 2015. Diario oficial.

En cuanto al personal para la operación de vehiculos de transporte de los RHS, si éstos operan las 24 horas del día, se requiere de al menos 3 turnos de 8 horas para garantizar que funcionen durante ese tiempo, lo cual en la práctica se observa que se realiza con 2 operarios por cada turno (i.e. conductor del vehículo y operario que hace la recolección), lo que implica que se requiere contratar a 6 operarios que para éste caso se asumirá que son técnicos o no profesionales de catergoría 6, por lo cual el costo asociado al personal operativo para el transporte es de $ 148.922.280/año para el transporte de hasta el PTALS y hasta el RSDJ.

El valor unitario de disposición en relleno o celda de seguridad proyectado para el año 2016 es de $ 16,5/kg, teniendo en cuenta la información del trabajo de RODRÍGUEZ, G. y CARRENO, D.[88] y un IPC del 6,77%, con lo que se propone la Ecuación 10 para estimar el costo de disposición final C_{DF}:

Ecuación 9. Estimación de costos de disposicipon final de RHS

$$C_{DF} = RHS \times C_D$$

Fuente: El autor (2016)

Donde,

C_D: valor unitario de disposición de residuos en relleno o celda de seguridad.

Usando esta ecuación se obtiene que el costo anual de disposición final es de $26.458.941.

De acuerdo con lo anterior, el costo anual directo de operación para el tratamiento de los RHS puede alcanzar los valores presentados en la Tabla 26.

Tabla 26. Costos de operación directos del tratamiento actual de RHS de Bogotá

Ítem		Costo anual
Consumo de combustible	Termodestrucción	$ 57.775.959
	Esterilización	$ 1.601.059
	Transporte PTALS	$ 4.285.692
	Transporte RSDJ	$ 12.001.167
	Total consumo de combustible	**$ 75.663.876**
Disposición final	**Total disposición final**	**$26.458.941**
Consumo de energía eléctrica	**Total consumo de energía eléctrica**	**$ 230.310.398**

[88] RODRÍGUEZ, Gerson Leandro y CARREÑO, David Leonardo. Evaluación técnica, ambiental y financiera de la alternativa seleccionada para el tratamiento de residuos infecciosos con énfasis en residuos anatomopatológicos. Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá D.C.: Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. 2014. p. 74.

Ítem		Costo anual
Personal	Incineración	$ 124.101.900
	Esterilización	$ 148.922.280
	Transporte PTALS	$ 148.922.280
	Transporte RSDJ	$ 148.922.280
	Total personal	**570.868.740**
Total		**$903.301.955**

Fuente: El autor (2016)

En los procesos de termodestrucción y esterilización que se aplican actualmente, se reutiliza el agua proveniente de los scrubber de los hornos incineradores y de la caldera del autoclave de calor húmedo. En ese sentido, y teniendo en cuenta lo evidenciado en las instalaciones del PTALS y de ECOCAPITAL, en ambos lugares se cuenta con sistemas de tratamiento con el fin de obtener los parámetros de calidad necesarios para reutilizar el agua en los procesos de tratamiento de RHS. De esta forma, el suministro de este recurso no se hace a través del servicio de acueducto, por lo que el consumo de agua y su costo asociado no se tuvieron en cuenta para el análisis de la situación actual ni de la alternativa propuesta.

7.4 Estimación de costos de la alternativa de aprovechamiento propuesta

Una vez seleccionada la alternativa propuesta para el aprovechamiento del acero contenido en los RHS generados en la ciudad de Bogotá, se realizaron las siguientes suposiciones, con el objeto de adelantar una estimación de costos:

- Segregación en la fuente: el MPGRHS vigente (resolución 1164 de 2002) no establece la posibilidad de otro tipo y material de recipientes utilizados para segregar los RHS y las especificaciones de rotulación y uso de estos recipientes no pueden ser diferentes a las definidas en la normatividad nacional vigente.

- Recolección y/o transporte: no se proponen variaciones a las rutas de recolección para los ESS y el tipo de vehículos (Tabla 15), debido a que la actual concesión (i.e. contrato de concesión No. 186 E DE 2011) limitaespecificaque la prestación del servicio de recolección y transporte de RHS en Bogotá debe estar a cargo de ECOCAPITAL. La estimación de la distancia recorrida, consumo de combustible y costos asociados se realizó utilizando la Ecuación 6, la Ecuación 7 y la Ecuación 8.

El valor unitario de disposición en relleno o celda de seguridad proyectado para el año 2016 es de $ 16,5/kg, teniendo en cuenta la información del trabajo de RODRÍGUEZ, G. y CARRENO, D.[89] y un IPC del 6,77%, con lo que se propone la Ecuación 10 para estimar el costo de disposición final C_{DF}:

Ecuación 10. Estimación de costos de disposicipon final de RHS

$$C_{DF} = RHS \times C_D$$

Fuente: El autor (2016)

Donde,

C_D: valor unitario de disposición de residuos en relleno o celda de seguridad.

- Consumo de energía eléctrica: el consumo de energía eléctrica y costos asociados a ésta se estimaron con base en la información técnica de los equipos que componen la alternativa para el tratamiento. El consumo de energía eléctrica y el costo relacionado con éste se estimó entonces aplicando la Ecuación 11 y la Ecuación 12, según los equipos propuestos en cada alternativa.

Ecuación 11. Estimación del consumo total de energia eléctrica en el tratamiento y separacion de RHS

$$E = \frac{E_E}{C_E} \times RHS$$

Fuente: El autor (2016)

Donde,

E: energía total consumida por el equipo de tratamiento (kWh/año).

E_E: energía requerida por el equipo para su operación durante un tiempo determinado (kWh/h).

C_E: capacidad del equipo (ton/h).

[89] RODRÍGUEZ, Gerson Leandro y CARREÑO, David Leonardo. Evaluación técnica, ambiental y financiera de la alternativa seleccionada para el tratamiento de residuos infecciosos con énfasis en residuos anatomopatológicos. Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá D.C.: Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. 2014. p. 74.

De manera similar a la Ecuación 11, el costo asociado al consumo de energía eléctrica para el tratamiento y separación de los residuos cortopunzantes se estimó mediante la Ecuación 12.

Ecuación 12. Costo de energía eléctrica consumida para el tratamiento y separación de los RHS

$$C_{TE} = E \times P_E$$

Fuente: El autor (2016)

Donde,

C_{TE}: costo total por consumo de energía eléctrica ($/año).

P_E: precio unitario de energía eléctrica ($/kWh).

- Personal requerido: Con base en la consulta que se hizo sobre los equipos que se proponen como alternativa de tratamiento, se proyectó el número de operarios que se requieren incluyendo los turnos de operación (Ecuación 13).

Ecuación 13. Estimación del personal requerido para el tratamiento y transporte de RHS

$$P = P_E + P_T$$

Fuente: El autor (2016)

Donde,

P: total del personal requerido para el funcionamiento de los equipos propuestos en la alternativa (operarios/año).

P_E: personal requerido para el funcionamiento del equipo durante 24 horas/día 30 días/mes con turnos de 8 horas. (operarios/año).

P_T: personal requerido para el transporte de RHS 24 horas/día 30 días/mes con turnos de 8 horas. (operarios/año).

El costo asociado al personal requerido para la operación de los equipos propuestos para cada alternativa se estimó mediante la Ecuación 14, las escalas salariales definidas en la resolución 038 de 2005 y el valor del SMMLV para el año 2016.

Ecuación 14. Costo de personal para el tratamiento y separación de los RHS

$$C_{TP} = P \times S$$

Fuente: El autor (2016)

Donde,

C_{TP}: costo total por pago de servicios del personal ($/año).

P: personal requerido

S: salario mensual incluyendo el pago de seguridad social (i.e. salud, pensión, cesantías y caja de compensación) de cada operario ($/año).

- Consumo de agua: los procesos de termodestrucción y desactivación de alta eficiencia que se aplican actualmente utilizan agua que es tratada después de ser usada en los equipos de lavado de gases y calefacción (calderas) y luego se recircula al proceso, por lo cual se supone que no tiene costos de operación asociados.
- Suministro e instalación: no se tuvo en cuenta el costo de inversión relacionado al suministro e instalación de equipos debido a que se asume que en un mediano o largo plazo ésta se recupere conforme los ingresos recibidos por la prestación del servicio de recolección y transporte, almacenamiento, tratamiento o aprovechamiento y disposición final.
- Beneficio por aprovechamiento: se calculó suponiendo un valor comercial de $550/Kg, para las 258 ton de acero contenidas en los RHS cortopunzantes en el 2013.

En la Tabla 27 se presenta el consumo de recursos y costos asociados a la operación para el escenario actual de la GIRHS y para la alternativa propuesta.

Tabla 27. Análisis comparativo entre el escenario actual y la alternativa propuesta

Criterio comparativo			Gestión actual de RHS			Gestión actual de residuos cortopunzantes			
			Por tipo de tratamiento			Por tipo de tratamiento			Alternativa Gestión de RHS
			1.640 ton/año	8.606 ton/año	Total	106,7 ton/año	921,4 ton/año	Total	1.028,1 ton/año
Tratamiento		Tipo	Termodestrucción	Esterilización		Termodestrucción	Esterilización		Microondas
		Lugar	PTALS	ECOCAPITAL		PTALS	ECOCAPITAL		ECOCAPITAL
Aprovechamiento		Tipo	No aplica	No aplica		No aplica	No aplica		Fundición
		Lugar	No aplica	No aplica		No aplica	No aplica		SIDENAL
Disposición final		Tipo	Celda de seguridad	Relleno sanitario		Celda de seguridad	Relleno sanitario		No aplica
		Lugar	PTALS	RSDJ		PTALS	RSDJ		No aplica
C_C	Tratamiento	*GLP* (gal/año)	10.311,0		10.311	677,9		677,9	0
		GN (m^3/año)	29.231,7	1.074,1	30.305,8	1.870,2	115	1.985,2	0
	Transporte	*V* (viajes/año)	468,6	478,1	946,7	30,5	51,2	81,7	57,1
		R (km/viaje)	34,3	57,3	91,6	34,3	57,3	91,6	457
		D (km/año)	16.072,4	27.395,8	43.468,2	1.045,2	2.933,1	3.978,3	26.101,2
		C_C (gal/año)	592,1	1.658,2	2.250,3	38,5	177,5	216	961,6
C_{DF}			**$26.319.830**	**$139.111**	**$26.458.941**	**$2.712**	**$14.786.996**	**$14.789.708**	**$0**
C_{CC}			**$62.061.650**	**$13.602.226**	**$75.663.876**	**$4.000.145**	**$1.456.331**	**$5.456.476**	**$6.959.874**
E (kWh/año)			550.588,2		550.588,2	39.147		39.147	493.467,7
C_{TE}			**$230.310.398**	**$0**	**$230.310.398**	**$16.375.161**	**$0**	**$16.375.161**	**$206.416.927**
P	P_E	Operario	3	6	**9**	3	6	**9**	12
		Auxiliar	3	0	**3**	3	0	**3**	0
	P_T	Operario	6	6	**12**	6	6	**12**	12
		Auxiliar	0	0	**0**	0	0	**0**	0
C_{TP}			**$273.024.180**	**$297.844.560**	**$570.868.740**	**$17.754.555**	**$31.888.922**	**$49.643.477**	**$59.769.696**
Costo total anual			**$591.716.058**	**$311.585.897**	**$903.301.955**	**$38.132.573**	**$48.132.250**	**$86.264.823**	**$273.146.496**
Beneficio por aprovechamiento			**$0**	**$0**	**$0**	**$0**	**$0**	**$0**	**$141.865.434**

*** Pesos COP constantes 2016**

C_C Cantidad total de combustible consumido (Diésel o A.C.P.M.).
GLP Gas Licuado de Petróleo.
GN Gas Natural.
V Número total de viajes realizados por el vehículo.
R Distancia total recorrida por el vehículo durante un viaje.
D Distancia total recorrida por el vehículo.
C_{CC} Costo asociado al consumo del combustible.
C_{DF} Costo de disposición final de residuos cortopunzantes.
E Energía total consumida en por el equipo de tratamiento.
C_{TE} Costo total por consumo de energía eléctrica.
P Total del personal requerido para el funcionamiento de los equipos propuestos en la alternativa.
P_E Personal requerido para el funcionamiento del equipo durante 24 hora/día 30 días/mes con turnos de 8 horas.
P_T Personal requerido para el transporte de RHS 24 horas/día 30 días/mes con turnos de 8 horas.
C_{TP} Costo total por pago de servicios del personal.

Fuente: El autor (2016)

De acuerdo con la Tabla 27, los ingresos anuales que podría generar la alternativa de aprovechamiento por concepto de comercialización del acero, podrían ser del orden de 142 millones de pesos anuales; esto podría ayudar a financiar el costo de operación adicional para el aprovechamiento del acero, el cual corresponde a $186.881.674, como se indica en los siguientes cálculos:

$$\underbrace{\$273.146.496}_{Costo\ Alternativa\ Gestión\ Cortopunzantes} - \underbrace{\$86.264.823}_{Costo\ Actual\ Gestión\ Cortopunzantes} = \$186.881.674$$

Lo anterior, puede llevar a que el costo anual de operación de la gestión de RHS incluyendo el aprovechamiento del acero ascienda tan sólo un 5% con respecto a los costos de la operación actual.

Adicionalmente, esto genera un beneficio ambiental que implica reducir la cantidad de residuos que se llevan a sitios de disposición final: tomando como referencia los datos de la Tabla 7 y la Tabla 8, la cantidad anual de cenizas que pueden generase en la termodestrucción de los RHS de Bogotá es del 5% al 5,9% de la cantidad de residuos que se tratan mediante este proceso, con lo que se estima que la cantidad de cenizas dispuestas en el relleno de seguridad del PTALS oscila entre 82 y 98,4 ton. De acuerdo con los cálculos realizados utilizando Ecuación 1, se estima que esta cantidad podría reducirse a valores entre 40,2 y 47,5 ton:

$$(1.640ton)\times\begin{cases}(0{,}05)=82ton\rightarrow(82ton)\times(0{,}51)=41{,}8ton\rightarrow(82ton)-(41{,}8ton)=40{,}2ton\\(0{,}059)=96{,}8ton\rightarrow(96{,}8ton)\times(0{,}51)=49{,}3ton\rightarrow(96{,}8ton)-(49{,}3ton)=47{,}5ton\end{cases}$$

Tomando como referencia los datos del 2013, la cantidad total de residuos biosantarios y cortopunzantes esterilizados que son dispuestos en el RSDJ podría llegar a ser 8.606 ton, las cuales se podrían haber reducido en un 10,7% según la el siguiente cálculo:

$$\frac{(921{,}4ton)}{(8.606ton)}\times 100 = 10{,}7\%$$

Es importante aclarar que si el tipo de tratamiento empleado para los residuos cortopunzantes, es sustituido por otro que resulte ser más eficiente y así mismo, si el aprovechamiento o valorización de estos residuos genera alguna

contraprestación que permita a ECOCAPITAL reducir el uso de recursos como combustible y energía eléctrica y el personal requerido, podría lograrse una mayor reducción de costos de operación.

De acuerdo con lo anterior, se puede afirmar que una alternativa de aprovechamiento del acero de los residuos cortopunzantes podría reducir los costos de disposición y permite prolongar la vida útil de los sitios de disposición final.

8. DISCUSIÓN

En Colombia existen alternativas tecnológicas disponibles para aprovechar el acero de los residuos cortopunzantes. El marco normativo actual para la gestión de RHS demanda procesos de inactivación patógena y eliminación de características físicas de peligrosidad, aún cuando éstos sean llevados a sitios de disposición final, lo cual implica costos que podrían ser recuperados parcialmente mediante el aprovechamiento del acero contenido en estos residuos.

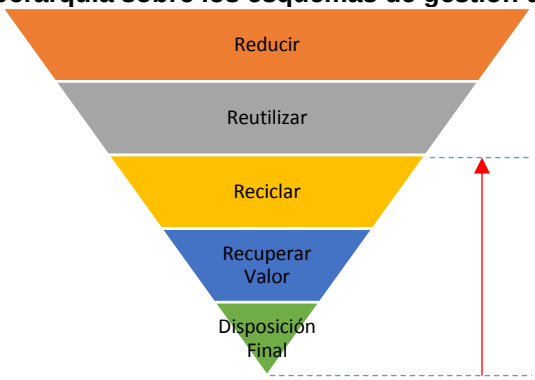
Al realizar la estimación de costos de la alternativa de aprovechamiento planteada, se encontró que el aprovechamiento del acero contenido en los RHS en Bogotá podría generar ingresos anuales que llevarían a un costo adicional con respecto al actual de tan solo 5%de los costos de operación.

La alternativa de aprovechamiento propuesta permite garantizar el cumplimiento de los lineamientos establecidos en la normatividad aplicable vigente, puesto que se garantiza la desactivación de alta eficiencia exigida en la resolución 1164 de 2002, a través del tratamiento con microondas. Adicionando a esto el proceso de trituración, el material obtenido puede considerarse como un residuo no peligroso y de esta forma, podría transportarse por medio de vehículos que no necesariamente deban cumplir con las características exigidas para este tipo de residuos. Esto ampliaría las alternativas de transporte, que actualmente se limitan a los vehículos de ECOCAPITAL.

A su vez, el escenario de aprovechamiento del acero contenido en los RHS podría mejorar el esquema actual de gestión de RHS, en donde se prefiere la alternativa

de reciclar antes de llevar a sitios de disposición final. Esto obedece al orden de preferencia de las alternativas contempladas en la jerarquía de opciones ambientales de la EPA (Gráfico 2), en donde el reciclaje es preferido antes de la disposición final por cuanto conlleva menores costos ambientales, económicos y sociales. Esto podría tomarse como un referente para aplicarlo a otros tipos de residuos que por limitaciones conceptuales, se considera que no pueden reciclarse a pesar de existir lineamientos en la normatividad aplicable que lo permiten y las tecnologías y medios para hacer rentable el aprovechamiento está disponibles.

Gráfico 2. Jerarquía sobre los esquemas de gestión de residuos



Fuente: ENVIRONMENTAL PROTECTION AUTHORITY VICTORIA (EPA VICTORIA)[90]. Adaptado por el autor (2016)

Con lo anterior se puede afirmar que desde el punto de vista económico, legal, técnico y ambiental resulta viable hacer un cambio en la gestión actual de los RHS generados en Bogotá con el fin de hacer aprovechamiento del acero contenido en los residuos cortopunzantes, teniendo en cuenta las consideraciones expuestas a lo largo de este documento.

Vale la pena mencionar que la OMS aprueba la utilización de recipientes de cartón, los cuales podrían facilitar la extracción de los elementos de acero que hacen parte de los residuos cortopunzantes. Sin embargo, actualmente éstos no son permitidos en Colombia. Teniendo en cuenta que el MPGIRHS aún está en proceso de revisión por parte del MADS, valdría la pena ampliar las opciones de los recipientes para la segregación en la fuente de los residuos cortopunzantes en cuanto a sus

[90] EPA VICTORIA. Waste. Recuperado el 05 de septiembre de 2016 del sitio web de la EPA: http://www.epa.vic.gov.au/your-environment/waste.

características y materiales, incluyendo aquellos avalados por la OMS, lo cual facilitaría el aprovechamiento de materiales recuperables, como el acero.

9. CONCLUSIONES

- Los RHS cortopunzantes generados por los ESS en Bogotá son tratados por termodestrucción y sus cenizas son dispuestas en un relleno de seguridad localizado en el Parque Tecnológico Ambiental de La Sabana (PTALS) del municipio de Mosquera que es operado por la empresa TECNIAMSA S.A. E.S.P.. Otra fracción de estos residuos es sometida a desactivación de alta eficiencia junto con los biosanitarios, para ser llevada una celda de seguridad del Relleno Sanitario de Doña Juana (RSDJ) operado actualmente por el Centro de Gerenciamiento de Residuos (CGR) Doña Juana S.A. E.S.P.

- En Bogotá, los ESS pueden llegar a generar más de 1.000 ton de RHS cortopunzantes al año, de los cuales se estima que aproximadamente un 10% es sometido a termodestrucción y el resto a desactivación de alta eficiencia. Anualmente se disponen unas 50 ton de cenizas de estos RHS en la celda de seguridad del PTALS y más de 900 ton en el RSDJ.

- En un año se podrían llegar a disponer 257,9 ton de acero, lo cual podría representar un ingreso del orden de 141 millones de pesos anuales, si se aplicara un proceso de segregación y aprovechamiento del metal contenido en los RHS de tipo cortopunzante. Esto conlleva a un costo adicional por aprovechamiento de tan solo un 5% del costo anual de la gestión de RHS actual.

- Pese a que algunos ESS cuentan con la capacidad técnica y procedimientos que se ajustan a los lineamientos técnicos definidos en el MPGIRHS para la desactivación de alta eficiencia para residuos cortopunzantes, la normatividad obliga a que estos establecimientos asuman los costos asociados al transporte y disposición final de estos residuos, por sus características cortopunzantes. De esta forma, actualmente los establecimientos gestionan sus RHS a través de ECOCAPITAL, quien ofrece toda la gestión requerida en un solo servicio.

- Una vez analizada la normatividad aplicable a la GIRHS en Bogotá se encontró que la resolución 0482 de 2009 especifica que no se podrán reciclar elementos o insumos médicos que se consideren como un residuo de carácter infeccioso; no obstante, la resolución 1164 de 2002, también vigente, indica que los residuos cortopunzantes podrán ser reciclados en plantas de fundición de metales, siempre y cuando éstos hayan sido tratados por esterilización de alta eficiencia con autoclave de calor húmedo, viabilizando jurídicamente el aprovechamiento del acero contenido en los RHS.

- Ampliar las características y materiales permitidos para los recipientes para la segregación en la fuente de los residuos cortopunzantes, incluyendo aquellos avalados por la OMS, facilitaría el aprovechamiento de materiales recuperables, incluyendo el acero.

- Se encontraron diferentes tecnologías disponibles en Bogotá para recuperar el acero que contienen los residuos cortopunzantes contenidos en ls RHS, incluyendo los tratamientos alternativos como la desactivación de alta eficiencia, microondas e hidrólisis alcalina, las unidades de trituración y separación como molinos de trituración de cables o llantas que podrían adecuarse para tal fin y las bandas transportadoras magnetizadas o tambores magnéticos. Estas tecnologías podrían ser adecuadas para ser aplicadas a los RHS cortopunzantes generados en la ciudad.

- La mejor alternativa encontrada para el aprovechamiento del acero de los residuos cortopunzantes generados en Bogotá consiste en un sistema de tratamiento que permita realizar la desactivación y trituración, en el caso analizado con microondas, en una misma unidad y luego llevar a aprovechamiento de estos residuos a una planta de separación y fundición del acero. Lo anterior obedece a que son tecnologías que ya se están aplicando en Colombia y podrían replicarse en la gestión de RHS generados por los ESS de la Ciudad. Adicionalmente, con base en los análisis presentados anteriormente, esta alternativa resulta viable para la ciudad en cuanto a que se puede

compensar parte de los costos de operación necesarios para el proceso, adecuando el acero para su comercialización.

- El aprovechamiento del acero que contienen los residuos cortopunzantes generados por los ESS de Bogotá, es viable a la luz de la normatividad aplicable vigente y de las alternativas de tratamiento y tecnologías disponibles actualmente en Colombia para su reciclaje.

10. RECOMENDACIONES

- A pesar de existir varios proveedores con capacidad técnica para ofrecer el servicio de transporte de RHS, este servicio se sigue limitando a la operación mediante un solo concesionario, lo cual limita las opciones de gestión de los RHS generados por los ESS de esta ciudad. En ese sentido, se considera importante que el distrito a través de la UAESP establezca mecanismos para propiciar la concesión con varios proveedores, que ofrezcan otras alternativas de gestión, incluyendo el aprovechamiento.

- Las estimaciones de costos realizadas en este trabajo pueden servir como punto de partida para desarrollar estudios más detallados sobre la viabilidad de aprovechamiento del acero u otros materiales contenidos en los RHS en Bogotá, lo cual podría extenderse por ejemplo, al aprovechamiento del metal contenido en materiales de osteosíntesis, que usualmente son de titanio.

- Es importante que las universidades, instituciones de investigación, autoridades ambientales desarrollen estudios sobre la GIRHS, especialmente sobre los residuos cortopunzantes provenientes de otros generadores diferentes a los ESS (e.g. viviendas, establecimientos comerciales, industrias, etc.), puesto que la información disponible en el tema es limitada. Así mismo, es necesario ampliar los estudios sobre otras tecnologías de tratamiento que hayan presentado resultados favorables en otros países y así mismo replicarlos en la infraestructura donde se desarrollan los procesos de tratamiento de RHS.

11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros y documentos

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (MAVDT). Decreto 4741 (30, diciembre, 2005). Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Bogotá, 2005.

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 2981 (20, diciembre, 2013). Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. Bogotá, 2013.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (MAVDT); MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL; MINISTERIO DE TRANSPORTE. Decreto 351 (19, febrero, 2014). Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades. Bogotá, 2014.

MINISTERIO DE AMBIENTE, Y DESARROLLO SOSTENIBLE (MADS). La gestión externa de los residuos hospitalarios en Colombia. Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Bogotá. 2009.

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS (CREG). Especificaciones de calidad del gas natural en el punto de entrada del sistema nacional de transporte de gas. Bogotá, 2008. D-062-08.

DL, S.A. de C.V., Gima S.p.A., Bionen sas di B. Nencioni & C., Ethicon - Johnson &

Johnson Medical Devices & Diagnostics Group – Latin America, L.L.C., FSSB y Biotek

ECOCAPITAL S.A. E.S.P. Estudio técnico de evaluación y gestión ambiental para los fines de solicitud de la modificación de la licenia ambiental para construcción, montaje y operación de la planta de incineración y tratamiento de residuos hopitalarios infecciosos otorgada a ECOCAPITAL Internacional S.A. E.S.P.

mediante la resolución DAMA No. 2517 del 03 de octubre de 2005. ECOCAPITAL S.A. E.S.P. Bogotá: 2005.

ECOCAPITAL S.A. E.S.P. ECOCAPITAL [diapositivas]. Bogotá: ECOCAPITAL S.A. E.S.P. 51 dispositivas, color.

ECOCAPITAL S.A. E.S.P. Tecnologías de tratamiento de residuos hospitalarios y similares [diapositivas]. Bogotá: ECOCAPITAL S.A. E.S.P. 34 dispositivas, color.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL (ESPOL). Estudio de la gestión de desechos sólidos en el cantón Puerto Baquerizo Moreno (isla San Cristóbal, provincia de Galápagos). Tesis de la facultad de ingenieria en ciencias de la tierra. Guayaquil: ESPOL; 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO (INSHT). Notas Técnicas de Prevención (NTP): Desinfectantes: características y usos más Corrientes.

INSTITUTO DE HIGIENE AMBIENTAL LTDA. (IHALTDA). Informe de caracterización de residuos: Ceniza – Prueba CRETIP/TCLP ECOCAPITAL. Bogotá: IHALTDA. 2010.

KOKUSAI KOGYO CO. LTD. y EX RESEARCH INSTITUTE LTD. Proyecto de estudio del plan maestro para el manejo integral de residuos sólidos en Bogotá, D.C. Bogotá, Colombia: UAESP y JICA, 2013. GE JR 13-213.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, MINISTERIO DE SALUD. Manual de procedimientos para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares en Colombia. Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente. 2002. ISBN 958-9487-37-8.

MINISTERIO DE SALUD (MINSA). Manual de desinfección y esterilización hospitalaria. Lima, Perú: MINSA – United States Agency for International Development (USAID). 2002.

MINSA. Tecnologías de tratamiento de residuos sólidos de establecimientos de salud. Lima, Perú: Programa de fortalecimiento de servicios de salud, 1998. Serie

de informes técnicos: MINSA, PFSS, Subcomponente de Sistemas Operativos. Lima. Octubre 1998.

MINISTERIO DE FOMENTO, MINISTERIO DEL INTERIOR Y MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. Guía para la gestión del combustible en las flotas de transporte por carretera. Madrid, España: 2006.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). PQS performance specification. Safety box for the disposal of used sharps. OMS. 2007. PQS-E10-SB01.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS). Curso de autoaprendizaje – Control de riesgos sanitarios y gestión adecuado de residuos de establecimientos de atención de salud. 2007. MÓDULO 5 Sistemas de tratamiento y disposición final de los DSH/P.

PROSARC S.A. E.S.P. Estudio de impacto ambiental para la operación de transporte, recolección, tratamiento y disposición de residuos peligrosos y no peligrosos. Colombia, Mosquera: PROSARC S.A. E.S.P. 2015.

REVISTA METAL ACTUAL. RECICLAJE Y RECUPERACIÓN DE METALES: Un Negocio de Dos Caras. Bogotá. Febrero a Abril de 2012. Edición No. 23.

RODRÍGUEZ, Gerson Leandro y CARREÑO, David Leonardo. Evaluación técnica, ambiental y financiera de la alternativa seleccionada para el tratamiento de residuos infecciosos con énfasis en residuos anatomopatológicos. Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá D.C.: Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. 2014.

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE (SDA). Informe sobre planta de tratamiento de residuos infecciosos o de riesgo biológico correspondiente al primer semestre de 2009 del expediente DM-07-05-154.

SEMINARIO: “LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS”. (5-8, junio, 2000: Buenos Aires, Argentina). Tecnologias para el tratamiento de Residuos

industriales por termodestrucción. Buenos Aires: Asociación para el Estudio de los Residuos Sólidos (ARS), 2000.

TCHOBANOGLOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S. Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues. New York: McGraw Hill. 1994. p. 82.

UNEP. Compendium of technologies for treatment/destruction of healthcare waste. Osaka, Japan: Division of technology, industry and economics international environmental technology centre, 2012. DTI/1561/JA.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Compendium of technologies for treatment/destruction of healthcare waste. Osaka, Japan: Division of technology, industry and economics international environmental technology centre, 2012. DTI/1561/JA.

UNIVERSIDAD DE HUELVA (UHU). Incineración por plasma y y otras tecnologías térmicas innovadoras para el tratamiento de residuos industriales [diapositivas]. Huelva, España: UHU. 44 diapositivas, color.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO. Polipropileno homopolímero isotactico. Departamento de mecánica aplicada y estructuras - facultad de ciencias exactas, ingeniería y agrimensura. Rosario, Argentina: 2002.

Cibergrafía

AK STEEL CORPORATION. 316/316L Stainless Steel. Product Data Bulletin. Recuperado el 19 de enero 2016, del sitio Web de AK STEEL: http://www.aksteel.com/pdf/markets_products/stainless/austenitic/316_316l_data_bulletin.pdf.

CASTELLS, X. E. 2000. Citado por UNAD. Curso en sistemas de tratamiento y disposición final de residuos sólidos – Lección 28: Antorcha de plasma. Recuperado el 21 de noviembre de 2015, del sitio Wb de la UNAD:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358012/ContLin/leccin_28_antorcha_de_plasma.html.

CODENSA S.A. Tarifas de energía CODENSA. Recueprado el 08 de mayo de 2016 del sitio Web de CODENSA: https://www.codensa.com.co/hogar/tarifas.

ECOCAPITAL S.A. E.S.P. Ambiental. Recuperado el 19 de enero de 2016, del sitio Web de ECOCAPITAL: http://www.ecocapital-int.com/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=119.DS.

ECOPETROL S.A: Tarifas GLP. Recuperado el 16 de marzo de 2016 del sitio Web de ECOPETROL: http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/precios/precios-vigentes/tarifas-glp/!ut/p/z0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfIjo8ziLQIMHd09DQy93S2DXQwcjUI9Td1CjTzMvU30C7IdFQEk37y0/.

ENVIIRONMENTAL-EXPERT. AMB Ecosteryl Equipment in Colombia. Recuperado el 02 de abril de 016, del sitio Web de ENVIIRONMENTAL-EXPERT: http://www.environmental-expert.com/products/location-colombia/brand-amb-ecosteryl.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AUTHORITY VICTORIA (EPA VICTORIA). Waste. Recuperado el 05 de septiembre de 2016 del sitio web de la EPA: http://www.epa.vic.gov.au/your-environment/waste.

ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES L.A. Vitalizer. Recuperado el 16 de mayo de 2016 del sitio Web de ENVIRONMENTAL TECHONOLOGIES: http://envirotech-la.com/sites/default/files/RFolletoVitalizer.pdf.

GLOBAL STEEL PTY. LTD. Stainless Steel - 316 / 316L. Recuperado el 19 de enero 2016, del sitio Web de GLOBAL STEEL: http://www.globalmetals.com.au/_pdf/Stainless_Steel/Stainless_Steel_316.pdf.

GOOGLE. Google Earth. [programa de computador]. Google Inc. v. 7.1.5.1557.

G-STYLE S.A. Technical Specifications of AISI316. Recuperado el 19 de enero 2016, del sitio Web de G-STYLE: http://www.gstyle.com/en/download/aisi316.pdf.

INDURA. Manual de aceros inoxidables. Cerrillos, Chile: 2M Impresores LTDA. 2010. p.18

MINSA. Tecnologías de tratamiento. Recuperado el 21 de noviembre de 2015, del sitio Web de MINSA: http://www.minsa.gob.pe/Publicaciones/pubs/Tecnologias/03.htm.

MAXISALUD. Recolectores de cortopunzantes. Recuperado el 04 de enero de 2016, del sitio Web de MAXISALUD: http://www.maxisalud.co/nuestros-productos.html.

METACOL S.A. Planta de producción. Recuperado el 11 de enero de 2016, del sitio Web de METACOL S.A.: http://www.metacol.com/metacol/planta-de-produccion.

NAS. North American Stainless. AISI 316. Recuperado el 19 de enero 2016, del sitio Web de NAS: http://www.northamericanstainless.com/wp-content/uploads/2010/10/Grade-316-316L1.pdf.

OPS. Tratamiento de Residuos Hospitalarios. Base de datos Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (BVSDE). [en línea]. [consultado el 24 de mar. 2015]. Disponible en www.bvsde.paho.org/cursoa_reas/e/fulltext/Ponencias-ID54.pdf.

OPS. Base de datos Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (BVSDE). [base de datos en línea]. [consultado el 24 de mar. 2015]. Disponible en http://www.bvsde.paho.org/cursoa_reas/e/fulltext/modil.pdf.

OPS. Sistemas de tratamiento y disposición final de desechos hospitalarios DSH/P. [En línea]. Consultado el 27-11-2015. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/cursoa_reas/e/fulltext/modil.pdf.

SANITEC INDUSTRIES INC. Microwave Healthcare Waste Disinfection System. Recuperado el 19 de enero 2016, del sitio Web de SANITEC: http://www.sanitecind.com.

SIDENAL S.A. Recursos Hídricos y Sólidos. Recuperado el 14 de agosto de 2016, del sitio web de SIDENAL S.A.: http://www.sidenal.com.co/recursos-hidricos-y-solidos/

TECNIAMSA S.A. E.S.P.. Plantas de Incineración. Recuperado el 13 de junio de 2015, del sitio Web de TECNIAMSA S.A. E.S.P.: http://www.tecniamsa.com/index.php?option=com_galeria_tecniamsa&view=galeria&Itemid=106.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME):. Indicadores. Recuperado el 13 de junio de 2016 del sitio Web de UPME: http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Indicador.aspx?IdModulo=3&ind=9.

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES (UBA). FACULTAD DE MEDICINA. Base de datos DEPTO. [base de datos en línea]. [consultado el 24 de mar. 2015]. Disponible en http://www.fmed.uba.ar/depto/microbiologia/500004.pdf.

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY. INSTITUTO DE HIGIENE. Base de datos CEFA. [base de datos en línea]. [consultado el 24 de mar. 2015]. Disponible en http://www.higiene.edu.uy/cefa/Libro2002/Cap%2027.pdf.

GAS NATURAL S.A. E.S.P.: Publicación Abril 2016 - Tarifas reguladas y Cargos de Distribución. Recuperado el 06 de mayo de 2016 del sitio Web de GAS NATURAL: http://www.gasnaturalfenosa.com.co/servlet/ficheros/1297151842027/PublcacionAbril2016-TarifasReguladasyCargoDistribuci%C3%B3n-GasNaturalSAESP.pdf.

Anexo 1. Matriz de normatividad vigente aplicable a la GIRHS en Bogotá

Norma aplicable	Título	Disposición aplicable		Tema que reglamenta	Descripción
		Tipo	Número		
Ley 253 del Ministerio de Relaciones Exteriores (17 de enero de 1996)	Por medio de la cual se aprueba el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, hecho en Basilea el 22 de marzo de 1989	Artículo	4	Generación en la Fuente	Obligaciones generales (literal a).
		Artículo	6	Recolección y Transporte	Movimientos transfronterizos entre partes.
		Artículo	9	Recolección y Transporte	Tráfico ilícito.
		Anexo	V B	Recolección y Transporte	Información que hay que proporcionar en el documento relativo al Movimiento.
		Anexo	IV	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Operaciones de eliminación.
NTC del Instituto Colombiana de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) 3969 (26 de noviembre de 1998	Transporte de mercancías peligrosas Clase 6: Sustancias tóxicas e infecciosas. Transporte terrestre por carretera	Numeral	4.2	Recolección y Transporte	Requisitos generales para el transporte de sustancias infecciosas.
		Numeral	4.3	Recolección y Transporte	Segregación: Tabla de prescripciones generales para la segregación de todas las sustancias y todos los artículos de una clase en relación con todos los de otras.
NTC 4702-6 del ICONTEC (24 de noviembre de 1999)	Embalajes y envases para transporte de mercancías peligrosas Clase 6: Sustancias tóxicas e infecciosas	Numeral	3.1.7	Recolección y Transporte	Códigos calificadores de los embalajes.
		Numeral	3.2.6	Recolección y Transporte	Marcas de especificaciones de las Naciones Unidas (UN) para los embalajes/envases para sustancias infecciosas.
		Numeral	3.5.2	Recolección y Transporte	Requisitos generales para el embalaje/envase de sustancias Clase 6.2 Infecciosas.
		Numeral	3.6.2	Recolección y Transporte	Instrucciones de embalaje/envase para la Clase 6.2 Sustancias infecciosas a transportar por vía terrestre y marítima.
		Numeral	3.6.3.3	Recolección y Transporte	Instrucción de embalaje/envase 602.

Norma aplicable	Título	Disposición aplicable		Tema que reglamenta	Descripción
		Tipo	Número		
Decreto 1609 del Ministerio de Transporte (31 de julio de 2002)	Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera	Artículo	4	Recolección y Transporte	Manejo de la carga (literal C del numeral 2 y numeral 6).
		Articulo	5	Recolección y Transporte	Requisitos de la unidad de transporte y vehículo de carga destinado al transporte de mercancías peligrosas.
		Capítulo	IV	Recolección y Transporte	Obligaciones de los actores de la cadena del transporte.
		Artículo	20	Recolección y Transporte	Sistema de control para el manejo de mercancías tóxicas e infecciosas, correspondiente a la clase 6 NTC 3969.
		Artículo	25	Recolección y Transporte	Otras acciones que comprende el control del transporte de desechos y mercancías peligrosas.
Resolución 1164 del Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Salud (06 de septiembre de 2002)	Por la cual se adopta el MPGIRHS de los residuos hospitalarios y similares	Numeral	4	Generación en la Fuente	Clasificación de los residuos hospitalarios y similares.
		Numeral	7.2.3	Generación en la Fuente	Segregación en la fuente.
		Numeral	7.2.4	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Desactivación de residuos hospitalarios y similares.
		Numeral	7.2.5	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Desactivación de alta y baja eficiencia.
		Numeral	8.1.4	Recolección y Transporte	Transporte de residuos hospitalarios y similares.
		Numeral	8.1.6	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Tratamiento de residuos infecciosos por incineración.
Resolución 886 del MAVDT (27 de julio de 2004)	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución número 0058 del 21 de enero de 2002 y se dictan otras disposiciones	Artículo	13	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Características técnicas generales de las plantas de incineración.

Norma aplicable	Título	Disposición aplicable		Tema que reglamenta	Descripción
		Tipo	Número		
NTC 1692 del ICONTEC (30 de noviembre de 2005)	Transporte de mercancías peligrosas, definiciones, clasificación, marcado, rotulado y etiquetado	Numeral	4	Recolección y Transporte	Clasificación.
		Numeral	5	Recolección y Transporte	Rotulado y etiquetado.
Ley 1252 del Congreso de la República (27 de noviembre de 2008)	Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones	Artículo	5	Recolección y Transporte	Tráfico ilícito.
		Artículo	6	Generación en la Fuente	Responsabilidad del generador.
		Artículo	7	Generación en la Fuente	Subsistencia de la responsabilidad.
		Artículo	8	Generación en la Fuente	Responsabilidad del receptor.
		Artículo	9	Generación en la Fuente	Contenido no declarado.
Resolución 909 del MAVDT (05 de julio de 2008)	Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones	Artículo	13	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para centrales térmicas con capacidad instalada inferior a 20 MW y plantas de cogeneración existentes.
		Artículo	14	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para centrales térmicas con capacidad instalada inferior a 20 MW y plantas de cogeneración nuevas.
		Capítulo	XII	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para instalaciones donde se realice tratamiento térmico a residuos y/o desechos peligrosos.
		Artículo	71	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Localización del sitio de muestreo en incineradores de residuos pligrosos.
		Artículo	81	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Fallas en los sistemas de control en incineradores de residuos pligrosos.

Norma aplicable	Título	Disposición aplicable		Tema que reglamenta	Descripción
		Tipo	Número		
Resolución 0482 del Ministerio de la Protección Social (11 de marzo de 2009)	Por la 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 de salud, susceptibles de ser aprovechados o reciclados	Artículo	5	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Prohibiciones.
		Artículo	5	Recolección y Transporte	Prohibiciones.
Decreto 2981 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (20 de diciembre de 2013)	Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo	Artículo	82	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Propósitos del aprovechamiento.
		Artículo	83	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Características de los residuos para el aprovechamiento.
		Artículo	84	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Almacenamiento de materiales aprovechables.
		Artículo	85	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Compactación o densificación de materiales aprovechables.
		Artículo	87	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Requisitos mínimos para las estaciones de clasificación y aprovechamiento.
Decreto 351 del Ministerio de Salud y Protección Social (19 de febrero 2014)	Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención de salud y otras actividades	Artículo	6	Generación en la Fuente	Obligaciones del generador.
		Artículo	7	Recolección y Transporte	Obligaciones del transportador de desechos o residuos peligrosos.
		Articulo	8	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Obligaciones del gestor o receptor de desechos o residuos peligrosos.
		Articulo	8	Disposición Final	Obligaciones del gestor o receptor de desechos o residuos peligrosos.
		Artículo	12	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Tratamiento de residuos o desechos peligrosos con riesgo biológico o infeccioso.

Norma aplicable	Título	Disposición aplicable		Tema que reglamenta	Descripción
		Tipo	Número		
Decreto 1076 del MADS (26 de Mayo de 2015)	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible	Articulo	2.2.6.1.2.1	Generación en la Fuente	Clasificación de los residuos o desechos peligrosos.
		Artículo	2.2.6.1.2.3	Generación en la Fuente	Procedimiento mediante el cual se puede identificar si un residuo o desecho.
		Artículo	2.2.6.1.3.1	Generación en la Fuente	Obligaciones del generador.
		Artículo	2.2.6.1.3.2	Generación en la Fuente	Responsabilidad del generador.
		Artículo	2.2.6.1.3.3	Generación en la Fuente	Subsistencia de la responsabilidad.
		Artículo	2.2.6.1.3.6	Recolección y Transporte	Obligaciones del transportista de residuos o desechos peligrosos.
		Artículo	2.2.6.1.3.7	Tratamiento y/o Aprovechamiento	Obligaciones del receptor.
		Artículo	2.2.6.1.3.7	Disposición Final	Obligaciones del receptor.
		Artículo	2.2.6.1.3.8	Disposición Final	Responsabilidad del receptor.
		Artículo	2.2.6.2.1.2	Recolección y Transporte	Del transporte de residuos o desechos peligrosos objeto de movimiento transfronterizo.
		Artículo	2.2.6.2.1.3	Recolección y Transporte	De la autorización para el movimiento transfronterizo de residuos o desechos peligrosos.
		Artículo	2.2.6.1.5.1	Tratamiento y/o Aprovechamiento	De las autoridades ambientales en la gestión integral de los residuos o desechos peligrosos (literal e).

Norma aplicable	Título	Disposición aplicable		Tema que reglamenta	Descripción
		Tipo	Número		
		Artículo	2.2.6.1.5.1	Disposición Final	De las autoridades ambientales en la gestión integral de los residuos o desechos peligrosos (literal e).
		Artículo	2.2.6.2.2.1	Disposición Final	Prohibiciones (literales e y g).

Fuente: Normatividad nacional y distrital sobre RHS. Elaboración propia (2016)

Anexo 2. Clasificación de los RHS (color de recipientes y rótulos)

Tipo de residuo			Contenido básico	Color	Rótulo	
					Etiqueta	Pictograma
No peligrosos	Biodegradables		Hojas y tallos de los árboles, grama, barrido del prado, resto de alimentos no contaminados.	Verde	No Peligrosos Biodegradables	No aplica
No peligrosos	Reciclables	Plástico	Bolsas de plástico, vajilla, garrafas, recipientes de polipropileno sin contaminar y que no provengan de pacientes con medidas de aislamiento.	Gris	Reciclable Plástico	
No peligrosos	Reciclables	Vidrio	Toda clase de vidrio.	Gris	Reciclable Vidrio	
No peligrosos	Reciclables	Cartón y similares	Cartón, papel, plegadiza, archivo y periódico	Gris	Reciclable Cartón Papel	
No peligrosos	Reciclables	Chatarra	Toda clase de metales.	Gris	Reciclable Chatarra	
No peligrosos	Ordinarios e inertes		Servilletas, empaques de papel plastificado, barrido, colillas, icopor, vasos desechables, papel cartón, tela.	Verde	No Peligrosos Ordinarios y/o Inertes	No aplica
		Biosanitarios, cortopunzantes y químicos citotóxicos	Compuestos por cultivos, mezcla de microorganismos, medios de cultivo, vacunas vencidas o inutilizadas, filtros de gases utilizados en áreas contaminadas por agentes infecciosos o cualquier residuos contaminado por éstos.	Rojo	Riesgo Biológico	

Tipo de residuo			Contenido básico	Color	Rótulo	
					Etiqueta	Pictograma
Peligrosos	Infeccioso	Anatomopatológicos y de animales	Amputaciones, muestras para análisis, restos humanos, residuos de biopsias, partes y fluídos corporales, animales o parte de ellos inoculados con microorganismos patógenos o portadores de enfermedades infectocontagiosas.	Rojo	Riesgo Biológico	
	Químicos	Químicos	Resto de sustancias químicas y sus empaques o cualquier otro residuos contaminado con estos.	Rojo	Riesgo Químico	
		Metales pesados	Objetos, elementos o restos de éstos en desuso, contaminados o que contengan metales pesados como: plomo, cromo, cadmio, antimonio, bario, níquel, estaño, vanadio, zinc, mercurio.	Rojo	Metales Pesados (Nombre del metal pesado) Riesgo Químico	
	Radiactivos		Estos residuos deben llevar una etiqueta donde claramente se vea el símbolo negro internacional de residuos radiactivos y las letras, también en negro RESIDUOS RADIACTIVOS.	Púrpura semitranslúcido	Radiactivos	

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, MINISTERIO DE SALUD[91]. Adaptado por el autor (2016)

[91] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, MINISTERIO DE SALUD. Manual de procedimientos para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares en Colombia. Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente. 2002. ISBN 958-9487-37-8. p. 43 y 44.

Anexo 3. Prescripciones para la segregación en el transporte de RHS

Clase		División		Tipo de segregación
1	Explosivos	1.1	Sustancias y objetos que presentan un riesgo de explosión en masa.	4
		1.2	Sustancias y objetos que presentan un riesgo de proyección sin riesgo de explosión en masa.	4
		1.3	Sustancias y objetos que presentan un riesgo de incendio y un riesgo menor de explosión o un riesgo menor de proyección, o ambos, pero no en un riesgo de explosión en masa.	4
		1.4	Sustancias y objetos que no presentan riesgo apreciable.	4
		1.5	Sustancias muy insensibles que presentan un riesgo de explosión en masa.	4
		1.6	Objetos sumamente insensibles que no presentan riesgo de explosión en masa.	4
2	Gases	2.1	Gases inflamables.	4
		2.2	Gases ni inflamables, no tóxicos.	2
		2.3	Gases tóxicos.	2
3	Líquidos inflamables			3
4	Sólidos Inflamables*	4.1	Sólidos inflamables, sustancias de reacción espontánea y sólidos explosivos insensibilizados.	3
		4.2	Sustancias que pueden experimentar combustión espontánea.	3
		4.3	Sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables.	2
5	Sustancias comburentes y peróxidos orgánicos	5.1	Sustancias comburentes.	3
		5.2	Peróxidos orgánicos.	3
6	Sustancias tóxicas y sustancias infecciosas	6.1	Sustancias tóxicas.	1
		6.2	Sustancias infecciosas.	X
7	Material radiactivo			3

Clase	División	Tipo de segregación
8	Sustancias corrosivas	3
9	Sustancias y objetos peligrosos varios	X

*** Sustancias que pueden experimentar combustión espontánea, sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables.**

Tipo de segregación		Interpretación
1	A distancia de	De manera que las sustancias incompatibles no puedan reaccionar peligrosamente unas con otras en caso de accidente, pero sí pueden transportarse en el mismo compartimiento o en la misma bodega a condición de establecer una separación horizontal mínima de 3 m a cualquier altura del espacio que se trate.
2	Separado de	En compartimientos o en bodegas distintos. Si la cubierta intermedia es resistente al fuego y a los líquidos, se podrá aceptar como equivalente a este tipo de segregación una separación vertical, es decir, la estiba efectuada en compartimientos distintos. Este tipo de segregación significa una separación de 6 m por lo menos en sentido horizontal.
3	Separado por todo un compartimiento o toda una bodega de	Separación vertical u horizontal. Si las cubiertas intermedias no son resistentes al fuego y a los líquidos, sólo será aceptable la separación longitudinal, es decir, por todo un compartimiento intermedio o toda una bodega intermedia. Este tipo de segregación significa una separación de 12 m por lo menos en sentido horizontal.
4	Separado longitudinalmente por todo un compartimiento o toda una bodega	La separación sola no satisface este tipo de segregación. Entre un bulto y otro, se debe mantener una separación de 24 m en sentido longitudinal, mediando entre ellos todo un compartimiento.
X	La segregación que pueda ser necesaria se indica en la ficha correspondiente.	

Fuente: ICONTEC. Elaboración propia (2016)