



**VALORACIÓN TÉCNICA Y AMBIENTAL DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE
MADERA PLÁSTICA A PARTIR DE RESIDUOS HOSPITALARIOS
DESACTIVADOS EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI**

AUTORES

JUAN FELIPE LOZANO VARGAS

JUAN SEBASTIAN RIVAS PUERRES

DIRECTOR

PABLO CÉSAR MANYOMA VELÁSQUEZ

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2016**



**VALORACIÓN TÉCNICA Y AMBIENTAL DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE
MADERA PLÁSTICA A PARTIR DE RESIDUOS HOSPITALARIOS
DESACTIVADOS EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI**

AUTORES

JUAN FELIPE LOZANO VARGAS

JUAN SEBASTIAN RIVAS PUERRES

TRABAJO DE GRADO

DIRECTOR

PABLO CÉSAR MANYOMA VELÁSQUEZ

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

SANTIAGO DE CALI

2016

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Santiago de Cali, Diciembre del 2016

AGRADECIMIENTOS

La consecución de este trabajo hubiera sido imposible de no ser por la ayuda brindada por la empresa Dh Ecoambiental S.A.S en cabeza del señor Melkin Riascos, gerente general de la compañía. Su siempre atenta respuesta a nuestras solicitudes de información jugo un papel indispensable en el desarrollo de los objetivos planteados por esta investigación.

Agrademos también al profesor Pablo César Mayoma por su dirección en esta investigación y su paciencia siempre acompañadas de palabras alentadoras que se constituyeron como uno de los motores de este proyecto.

Por ultimo queremos agradecer al señor Keller Carabali por su diligente atención a nuestras inquietudes y nuestro amigo Camilo Zúñiga que con su experiencia y calidad humana fue de gran ayuda para que la investigación no se viera atascada y se lograsen culminar lo objetivos planteados.

Felipe y Sebastián

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. OBJETIVOS	3
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
2. DESACTIVACIÓN DE LOS RESIDUOS HOSPITALARIOS.....	4
2.1 ACERCA DE LOS RESIDUOS	4
2.2 ALTERNATIVAS DE DESACTIVACIÓN DE LOS RESIDUOS HOSPITALARIOS.....	8
2.2.1 Desactivación mediante autoclave de calor húmedo.	9
2.2.2 Desactivación por calor seco.....	9
2.2.3 Desactivación por radiación.....	9
2.2.4 Incineración.....	9
2.2.5 Desactivación de alta eficiencia física – químico – seco.....	10
2.3 PROCESO DE DESACTIVACIÓN DE ALTA EFICIENCIA FÍSICA – QUÍMICO – SECO.....	10
2.3.1. Generación y clasificación en la fuente.	10
2.3.2. Almacenaje Del generador.	11
2.3.3. Despacho.	11
2.3.4 Almacenaje de la empresa encargada de la gestión del residuo.	11
2.3.5 Procesamiento	12
3. GENERACIÓN LA GENERACIÓN DE MADERA PLÁSTICA A PARTIR DE RESIDUOS HOSPITALARIOS.	15
3.1 MADERA PLÁSTICA.....	15
3.1.1 Antecedentes de causales de la generación de madera plástica.....	16
3.1.2 Empleos prácticos de la madera plástica.....	16
3.1.3 Alternativas de generación de madera plástica a partir de residuos.	19
3.1.3.1 Madera plástica con paja de trigo y matriz polimérica.....	19

3.1.3.2 Aprovechamiento de polipropileno y polietileno de alta densidad reciclado y reforzado con fibra vegetal (Stromanthe Stromathoides).....	20
3.1.3.3 Caracterización de los materiales plásticos reciclados provenientes de la industria bananera empleados para la elaboración de madera plástica.	20
3.2 PROCESOS REQUERIDOS PARA LA GENERACIÓN DE MADERA PLÁSTICA A PARTIR DE RESIDUOS HOSPITALARIOS DESACTIVADOS	21
3.2.1 Molienda.....	22
3.2.2 Aglutinado.	22
3.2.3 Procesos de conformado (termoplásticos).....	22
3.2.3.1 Extrusión	22
3.2.3.2 Inyectora.	24
3.2.3.3 Termo formado.....	25
3.2.4 Tanque de enfriamiento.....	25
3.2.5 Diagrama de flujo.	25
4. EVALUACIÓN MEDIANTE INDICADORES DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y AMBIENTAL DE UNA PLANTA GENERADORA DE MADERA PLÁSTICA A PARTIR DE RESIDUOS HOSPITALARIOS DESACTIVADOS.....	27
4.1 DH ECOAMBIENTAL	27
4.2 Ingeniería del proyecto.	29
4.2.1 Proceso de producción.....	29
4.2.2 Producto.....	31
4.2.3 Materias Primas.	32
4.2.3.1 Residuos hospitalarios desactivados.....	32
4.2.3.2 Materiales plásticos.	33
4.2.4 Composición de Madera Plástica.	33
4.2.5 Infraestructura.	34
4.2.6 Layout.	36
4.2.7 Maquinaria y equipos	37
4.2.8 Personal.	39
4.3 INDICADORES AMBIENTALES Y TÉCNICOS DEL PROYECTO.....	41
4.3.1 Indicadores técnicos.....	41

4.3.1.1 Tiempo de ciclo.	41
4.3.1.2 Capacidad.	42
4.3.2 Indicadores ambientales.....	44
4.3.2.1 Impacto, actual y futuro, de los residuos hospitalarios desactivados por Dh Ecoambiental en el relleno sanitario.	44
4.3.2.2 Cantidad de residuos hospitalarios reutilizados.	46
4.3.2.3 Aumento de la vida útil.	47
5. CONCLUSIONES	49
BIBLIOGRAFÍA.....	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Porcentaje de residuos peligrosos aprovechados en las actividades productivas de mayor generación.	7
Tabla 2: Ficha técnica prototipo de productos de madera plástica:	32
Tabla 3: Maquinaria y equipos	38
Tabla 4: Tiempos requeridos para el procesamiento de de materias primas.	41
Tabla 5: Cantidad de residíos desactivados por mes para el periodo (septiembre 2015 – febrero 2016).	45

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Proceso de desactivación físico – químico – seco.	13
Ilustración 2: residuos hospitalarios desactivados.	14
Ilustración 3: Productos de línea agrícola en madera plástica.	17
<i>Ilustración 4: Productos para amueblamiento urbano de madera plástica.</i>	<i>17</i>
Ilustración 5: Juegos infantiles contruidos con madera plástica.	18
Ilustración 6: Productos de madera plástica de la línea de la construcción.	18
Ilustración 7: Productos de madera plástica en el campo vial.	19
Ilustración 8: Diagrama de Extrusora.	23
Ilustración 9: Diagrama de la inyectora.	25
Ilustración 10: Diagrama de flujo proceso productico madera plástica.	26
Ilustración 11: Flujo de los residuos hospitalarios.	28
Ilustración 12: Costos periodo (julio 2015 - enero 2016) por disposición final de residuos hospitalarios desactivados.	29
Ilustración 13: Diagrama de operaciones del proceso de producción de madera plástica a base de residuos hospitalarios desactivados.	31
Ilustración 14: Distribución porcentual de la madera plástica.	34
Ilustración 15: Vista frontal de la bodega destinada para la ubicación de la planta de madera plástica.	35
Ilustración 16: Vista aérea de la bodega destinada para la ubicación de la planta de madera plástica.	35
Ilustración 17: Layout de la planta de madera plástica.	36
Ilustración 18: Organigrama Dh Ecoambiental S.A.S.	39
Ilustración 19: Organigrama división, madera plástica.	39

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: Madera Plástica Producida a Partir de Residuos Sólidos Hospitalarios.....	64
--	----

RESUMEN

El presente trabajo expone la evaluación técnica y ambiental de una planta productora de madera plástica a partir de residuos hospitalarios desactivados por la empresa Dh Ecoambiental SAS, empresa ubicada en el municipio de Yumbo en el departamento del Valle del Cauca, con operación en este departamento y en el eje cafetero.

Se realiza la evaluación con base en datos obtenidos de fuentes secundarias acerca de la realidad de los residuos hospitalarios, descripción de los mismos, su gestión e impactos generados por la disposición final. De igual manera se han obtenido datos proporcionados por la empresa Dh Ecoambiental acerca de sus operaciones con los residuos hospitalarios y la investigación y desarrollo del proyecto de generación de madera plástica a partir de los residuos hospitalarios desactivados, con el que se busca hacer una contribución al medio ambiente, en virtud del lema de la empresa “Comprometidos con el medio ambiente”.

La investigación se desarrolla, primero con el análisis de la realidad actual de los residuos hospitalarios y las formas en que son gestionados en el país, para posteriormente centrarse en un solo método de tratamiento, el proceso de desactivación físico química en seco, método que solo ha sido adoptado por la empresa Dh Ecoambiental en el contexto colombiano. A partir de los residuos de este proceso, los cuales han sido denominados residuos hospitalarios desactivados, se plantea una alternativa de reutilización de los mismos, la cual se centra en el uso de estos como materia prima de un proceso de generación de madera plástica. Seguidamente se describen las características de la Madera Plástica en comparación con la Madera convencional, además de mencionar los usos más frecuentes de este producto y la descripción del proceso productivo de fabricación de la madera.

Posteriormente se analizan indicadores técnicos como el tiempo de ciclo y la Capacidad del proceso de fabricación de Madera plástica, e indicadores ambientales que permiten ver el impacto que podría llegar a tener el proyecto, dando para efectos de esta investigación principal relevancia al beneficio que la ejecución de este proyecto sobre el medio ambiente y un punto en especial que es el posible aumento de la vida útil del segundo relleno sanitario más importante de Colombia.

PALABRAS CLAVE: Residuos hospitalarios, desactivación física – químico – seco, madera plástica, relleno sanitario.

INTRODUCCIÓN

Actualmente nos encontramos en un mundo en constante crecimiento, tanto en volumen poblacional, como en incremento de las actividades productivas de las que depende el hombre para su sustento, tales como la industria, la agricultura, ganadería, la salud entre otros. Sectores de la economía como el de servicios se ha incrementado considerablemente posicionándose de esta manera como un motor potencial para la economía. Directamente proporcional al aumento de las actividades productivas, crece la generación de residuos de diferente índole generados por personas y empresas que día tras día representan un reto en lo correspondiente a su gestión. Dentro de los diferentes tipos de residuos que puedan generarse, existen algunos que debido a sus características físicas representan un gran desafío para su disposición final, este es el caso de los llamados residuos hospitalarios, que están dentro de la rama de los residuos peligrosos y por sus características se constituyen como un reto aun mayor para la consecución de la reducción en el impacto ambiental generado por ellos.

Con el pasar de los años el hombre ha percibido las consecuencias de la incorrecta gestión de los residuos, especialmente los hospitalarios que son generados por clínicas, hospitales, centros médicos y demás generadores descritos en el decreto 351 del año 2014. En Colombia el tratamiento más usado para estos residuos ha sido durante muchos años la incineración, sin embargo han surgido otras tecnologías para el tratamiento de estos residuos, como lo son la Autoclave, ecosteryl, entre otros. Los residuos transformados en todas estas alternativas de tratamiento finalmente deberán ser dispuestos de acuerdo a la normatividad, por ejemplo las cenizas del proceso de incineración se disponen en celdas de seguridad, los residuos generados en Autoclaves se disponen como residuos inertes en rellenos sanitarios. Por consiguiente, los residuos transformados culminan su vida útil en un relleno sanitario. La empresa DH Ecoambiental S.A.S ESP actualmente cuenta con la tecnología de desactivación físico química en seco la cual logra al final del proceso obtener un residuo completamente inerte, y permite conservar características de algunos materiales principalmente plásticos utilizados en procedimientos médicos.

La importancia considerada en este estudio recae sobre la empresa DH Ecoambiental S.A.S ESP, que en aras de tener procesos sostenibles en términos ambientales deberá adoptar una cultura completamente diferente con respecto a la disposición final de sus residuos, mediante el reciclaje o rehusó de los materiales presentes en los mismos, y así reducir el impacto de la disposición final en un relleno sanitario. Representando de esta manera una solución amigable con el medio ambiente.

En esta medida, en el presente trabajo de grado se realiza la evaluación técnica y ambiental de la producción de madera plástica a partir de residuos hospitalarios desactivados de la empresa en cuestión como una solución a la problemática planteada anteriormente. Para la consecución de los objetivos del proyecto, el presente trabajo de grado se ha dividido en 5 Capítulos. En el capítulo 3 se describe de forma detallada los procesos para la fabricación de madera plástica. En el Capítulo 4 se realiza la evaluación técnica y ambiental, en donde se revisan indicadores como capacidad, y tiempo de ciclo para la evaluación técnica e indicadores ambientales que muestran el impacto positivo en términos ambientales de la ejecución y puesta en marcha del proyecto.

Finalmente en el capítulo 5 se relacionan las conclusiones de la investigación de acuerdo a la información suministrada y a los datos obtenidos de la evaluación técnica y ambiental para la planta productora de madera plástica.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar técnica y ambientalmente una planta productora de madera plástica a partir de residuos hospitalarios desactivados, teniendo como base los procesos realizados en la empresa Dh Ecoambiental.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los procesos empleados en la desactivación de residuos hospitalarios.
- Identificar los procesos requeridos para la generación de madera plástica a partir de residuos hospitalarios.
- Desarrollar indicadores apropiados para la medición de la viabilidad técnica – ambiental de una planta generadora de madera plástica a partir de residuos hospitalarios desactivados.

2. DESACTIVACIÓN DE LOS RESIDUOS HOSPITALARIOS

2.1 ACERCA DE LOS RESIDUOS

Con el crecimiento de todas las actividades humanas también han aumentado la generación de residuos de diferentes tipos. Estos tipos de residuos varían ampliamente en sus características y por ende en la forma en que deben ser gestionados para tratar de mitigar en la mayor medida posible su impacto al medio ambiente y a la salud de los seres vivos. Los residuos pueden ser clasificados desde diferentes ángulos. Si se piensa en los residuos desde su volumen se pueden ubicar algunos tipos que por su cantidad de generación resulta su disposición final todo un reto para la humanidad y aún más su posible recuperación, reúso o reciclaje. Por su gran volumen destacan por ejemplo los residuos sólidos urbanos dentro de los cuales se incluyen todos los materiales sólidos o semisólidos que el poseedor en los perímetros urbanos ya no considera de suficiente valor como para ser retenidos. A su vez dentro de este tipo de residuo destacan los residuos sólidos domésticos tal como los residuos de comida, papel, cartón, plásticos, textiles, cuero, residuos de jardín, madera, vidrio, latas de hojalata, aluminio, otros metales, cenizas, electrodomésticos (EPA, 2016b). Otro tipo de residuo que destaca por su gran volumen de generación son los residuos sólidos de construcción y demolición los cuales tal y como su nombre indica, provienen de la construcción, demolición, rehabilitación y restauración de edificios e infraestructuras; así como de la producción de materiales de construcción, por ejemplo una máquina de hacer hormigón, componentes del hormigón, artículos de madera,...etc. (EPA, 2016a).

Desde otro ángulo, si se analizan los residuos ya no desde su volumen si no desde sus características existen residuos que debido a su composición química, física y/o biológica, provocan efectos adversos de diversa magnitud al hombre y al medio ambiente; tal es el caso de los residuos peligrosos. Un residuo peligroso es aquel residuo que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgos, daños o efectos no deseados, directos o indirectos, a la salud humana y al ambiente. Según la ley 1252 en su artículo 3 también se consideran residuos peligrosos a los empaques, envases y embalajes que estuvieron en contacto con ellos (Ideam, 2012).

La mayoría de países del mundo se han acogido el Convenio de Basilea, acuerdo internacional que para el 2011 estaba ratificado por 179 países y que establece las directrices para trabajar frente a los problemas y retos asociados con los residuos peligrosos. Colombia por su parte se suscribió al Convenio de Basilea el 22 de marzo de 1989 y lo ratificó mediante la Ley 253 de 1996 (Ideam, 2012). A nivel mundial cada país ha adoptado sus propias normativas sobre la generación y

gestión de los residuos peligrosos con base en lo establecido en el Convenio de Basilea.

En el año 2011 la generación de residuos peligrosos en Colombia fue de 174.418 toneladas, cifra que a su vez es superior a las 141.735 toneladas generadas en 2010. En el análisis de generación de residuos peligrosos por corriente de residuos se observa que las mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua fue el residuo peligroso que más se generó en el país (47% de la generación nacional para el 2011). Seguidamente resalta la corriente de residuos hospitalarios que para 2011 generó el 10% de los residuos peligrosos en el país. De esta manera se tiene que para el año 2011 la cantidad de toneladas de residuos hospitalarios fue de 17.441 toneladas.

Es de destacar que la ciudad que más residuos peligrosos generó para el mismo año fue Bogotá D.C con 20625,7 toneladas. Para el año 2015 solo en la ciudad de Bogotá se produjeron 11.844 toneladas de residuos hospitalarios los cuales a su vez fueron compuestos por 10.264 toneladas de residuos biosanitarios y cortopunzantes y 1.580 toneladas de residuos anatomopatológicos (Bogotá, 2015). En el 2011 la generación de residuos peligrosos para el Valle del Cauca reportada por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) fue de 5.158 toneladas. Por su parte la ciudad de Cali tuvo una generación de 5.119 toneladas de residuos peligrosos de las cuales el 50% correspondió a residuos pertenecientes a la corriente de hospitalarios y similares (Ideam, 2012). Sin embargo, estas cifras pueden resultar menores a las cantidades reales de la generación de residuos hospitalarios, debido a que un gran número de entidades prestadoras de servicio de salud funcionan sin ser habilitadas y por ende no reportan sus residuos. Este fenómeno se ve evidenciado en la capital del valle del cauca, en donde la secretaria de salud señaló que solo están habilitadas 3.600 de salud y belleza, pero en realidad operan al menos 7.000, lo que quiere decir que las restantes 3.400 trabajan en la informalidad (ELPAÍS, 2011).

Los residuos peligrosos hospitalarios y similares se componen de residuos biosanitarios, cortopunzantes, anatomopatológicos, material contaminado con fluidos corporales y líquidos desinfectantes (Ideam, 2012). El Ministerio de medio ambiente mediante el manual de procedimientos para la gestión integral de residuos hospitalarios (MPGIRH) define estos residuos de la siguiente manera (Salud, Del, & Ambiente, 2009):

- **Biosanitarios:** Todos aquellos elementos utilizados en procedimientos médicos que tienen contacto con materia orgánica, sangre o fluidos corporales del paciente humano o animal tales como gasas, aplicadores, algodones, vendajes, mechas, catéteres, sondas, ropas desechables, toallas higiénicas, pañales, laminas porta objetos, tubos capilares y de ensayo o cualquier otro elemento desechable que la tecnología médica introduzca en el paciente.

- **Anatomopatológicos:** Son los provenientes de restos humanos, muestras para análisis, incluyendo biopsias, tejidos orgánicos amputados, partes y fluidos corporales, que se remueven durante necropsias, cirugías u otros procedimientos, tales como placentas, restos de exhumaciones entre otros.
- **Cortopunzantes:** Se les conoce como todos aquellos que por sus características punzantes o cortantes pueden dar origen a un accidente percutáneo infeccioso. Dentro de estos se encuentran: limas, lancetas, cuchillas, agujas retos de ampolletas, pipetas, láminas de bisturí o vidrio o cualquier otro elemento de que por sus características Cortopunzantes pueda lesionar y ocasionar un riesgo infeccioso.
- **Animales:** Como aquellos que provienen de animales de experimentación, inoculados con microorganismos patógenos y/o los provenientes de animales portadores de enfermedades infectocontagiosas.

El debido proceder en el manejo de los residuos clínicos es de suma importancia. Así lo recalca la secretaria de salud de la capital colombiana, la cual anunció en el 2015 que las entidades que no cumplan con los requerimientos mínimos exigidos se les iniciarían procesos sancionatorios cuyas multas podrían llegar hasta los cinco mil salarios mínimos mensuales vigentes (\$3.221.750.000) **(ELESPECTADOR, 2015b)**. Para este mismo año en Bogotá se generaron aproximadamente 11 mil toneladas de residuos infecciosos, destacando con preocupación el hecho de que se atendieron cuatro emergencias de arrojos clandestinos de este tipo de residuos en diferentes zonas de la ciudad, poniendo así en alto riesgo la vida de las personas, animales y el medio ambiente **(ELESPECTADOR, 2015a)**.

Dentro del debido manejo que se le debe dar a los residuos peligrosos existen tres posibles caminos los cuales son almacenamiento, aprovechamiento y/o valorización y tratamiento. De esta manera se tiene que para el año 2011 se gestionaron en el país un total de 157.662 toneladas de residuos peligrosos, de las cuales el 21,1% (33.344 toneladas) fueron aprovechadas y/o valorizadas, el 43,2% (68.087 toneladas) fueron tratadas y el 35,7% (56.231) fueron llevadas a disposición final. A 31 de diciembre de 2011 se encontraban en almacenamiento un total de 42.031 toneladas que no habían sido gestionadas. A pesar de que el aprovechamiento de residuos peligrosos debe ser la opción de manejo más utilizada, según la Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos, para el 2011 esta tipo de manejo solo aumentó en 651 toneladas con respecto al año 2010, a pesar que la generación total de estos residuos creció en más de 32.000 toneladas entre los dos años en cuestión **(Ideam, 2012)**.

En el caso particular de la ciudad de Bogotá para el año 2013 se dispusieron en el relleno sanitario Doña Juana 4.700 toneladas de residuos desactivados y 25 toneladas de cenizas, correspondientes a la totalidad de los residuos generados en el Distrito. Esto evidencia la carencia de alternativas de aprovechamiento para este tipo de residuos en el país (**ELTIEMPO, 2014**).

Si se analiza el tipo de manejo dado a los residuos peligrosos generados en actividades de instituciones prestadoras de servicios de salud, se tiene que el aprovechamiento tan solo asciende al 4%, lo cual es ostensiblemente inferior al porcentaje general que presentan los residuos peligrosos y que a su vez si es comparado con el aprovechamiento en las 5 actividades productivas de mayor generación en el país también se ubica en la última posición. *Ver Tabla 1.*

Tabla 1: Porcentaje de residuos peligrosos aprovechados en las actividades productivas de mayor generación.

Descripción de actividad productiva	Generación	Aprovechamiento	%RESIDUOS APROVECHADOS
Extracción de petróleo crudo y gas natural	74.184	5.253	7%
Industrias básicas de hierro y de acero	14.510	1.214	8%
Actividades de las instituciones prestadoras de servicios de salud	11.357	413	4%
Fabricación de productos metálicos para uso estructural	5.383	5.246	97%

Fuente: (Ideam, 2012).

Lo anterior es preocupante debido a la importancia de minimizar la generación de residuos peligrosos en el país y así disminuir la presión sobre los recursos naturales, el uso de energía y la contaminación ambiental. Las alternativas de aprovechamiento de estos residuos, tales como la reutilización, el reciclaje y la recuperación, y las alternativas de tratamiento encaminadas a recuperar materias primas para su utilización, ya sea en el mismo proceso en donde se usaron inicialmente o en otro distinto, deberían ser en lo posible incorporadas por los generadores y gestores en sus actividades productivas, lo que también redundaría en un beneficio económico para ellos.

Cabe aclarar que estas posibles alternativas deben estar enmarcadas en la legalidad y pensadas para generar un bien común antes que el beneficio económico propio como el que ocurría para el año 2008 en el país, cuando las

empresas prestadoras de salud vendían toneladas de residuos a recicladores; lo cual generaba un problema peor, ya que no se sabía cuál era el destino final de estos residuos, elementos que podían ser utilizados, entre otras cosas, para rellenar colchones, convirtiéndose así en un inconveniente gravísimo de salud pública. Este hecho fue denunciado por la Secretaría de Salud, en debate en el Congreso de la república (ELESPECTADOR, 2008). Otro antecedente de lo anterior se presentó en el departamento de Antioquia cuando fueron detenidos en el municipio de Itagüí un grupo de personas cuando tenían en su poder 150 kilos de desechos hospitalarios los cuales iban a ser revendidos en el occidente de Medellín para su reutilización o reciclado. Se encontró que estos desechos se les había practicado un lavado superficial (ELESPECTADOR, 2012). Se deja en claro que ningún tipo de lavado es certificado por las autoridades ambientales competentes para dejar aptos los residuos de tipo hospitalario para algún tipo de reúso. Dentro de la gravedad del asunto se logra también evidenciar que los desechos hospitalarios son altamente reutilizables pero que de hacerse debe estar enmarcado en el ámbito legal.

Queda entonces una base clara para la continuación de esta investigación y es que todo posible aprovechamiento que se pueda efectuar de los residuos hospitalarios debe ser antecedido por un procesamiento que desactive sus características de peligrosidad. Como antecedente de una alternativa de reúso de residuos hospitalarios en el marco de la legalidad esta la descrita en el manual de procedimientos para la gestión integral de residuos (MPGIR) en la cual se menciona que los desechos hospitalarios de tipo corto punzantes que sean tratados por el sistema de autoclave y después de ser triturados podrán ser reciclados en plantas de fundición de metales (Salud et al., 2009).

2.2 ALTERNATIVAS DE DESACTIVACIÓN DE LOS RESIDUOS HOSPITALARIOS

Según el decreto 4741 del 2005 se entiende por tratamiento aquellas operaciones o procesos mediante los cuales se modifican las características de los residuos teniendo en cuenta el riesgo y grado de peligrosidad de los mismos, para minimizar los impactos negativos para la salud humana y el ambiente. Para el 2011 la cantidad de residuos clínicos y similares procesados fue de 11.740 toneladas, las cuales representan el 67% de los residuos generados en ese año (Ideam, 2012). Los tratamientos más comunes para el procesamiento de residuos hospitalarios en Colombia son los descritos en el Plan de Gestión Integral de Residuos Hospitalarios (PGIRH) emitido por el Ministerio del medio ambiente, los cuales son la desactivación mediante autoclave de calor húmedo, desactivación por calor seco, desactivación por radiación y la incineración. Estos se describen a continuación.

2.2.1 Desactivación mediante autoclave de calor húmedo.

El vapor saturado actúa como transportador de energía y su poder calórico penetra en los residuos causando la destrucción de los microorganismos patógenos contenidos en los residuos biosanitarios y cortopunzantes. Sin embargo, los residuos con grasa y materia orgánica voluminosa actúan como barreras obstaculizando el proceso de desinfección, razón por la cual este método no es eficiente para la desinfección de residuos anatomopatológicos y de animales. La desactivación debe hacerse a presión de vapor, temperatura y tiempo de residencia que aseguren la eliminación de todos los microorganismos patógenos. El nivel pleno de funcionamiento se alcanza cuando la temperatura es homogénea en todos los sitios de la carga. Siempre que este método sea utilizado con residuos cortopunzantes, estos deben ser triturados antes de ser enviados al relleno sanitario. Es importante resaltar que el ministerio del medio ambiente de Colombia permite que este tipo de residuo producto de este tratamiento pueda ser reciclado en plantas de fundición de metales (Salud et al., 2009).

2.2.2 Desactivación por calor seco.

Se utilizan las temperaturas y tiempos de residencia que aseguran la eliminación de microorganismos patógenos. En el llamado Autoclave de calor seco se utiliza aire seco a 180°C, sometiendo los residuos a tiempos de hasta dos horas. Con este tipo de tecnología no se pueden desinfectar los residuos de papeles, textiles o que posean sustancias alcalinas, o grasas entre otras, es decir aquellos que se quemen, volatilicen o licúen a dichas temperaturas. Siempre que este método sea utilizado con residuos cortopunzantes, deben ser triturados antes de ser enviados al relleno sanitario. Este proceso no es recomendable para residuos anatomopatológicos y de animales.

2.2.3 Desactivación por radiación.

Se exponen los residuos a la acción de una fracción del espectro electromagnético, como el ultravioleta para superficies o materiales poco densos y delgados, o mediante el uso de otro tipo de radiación como los rayos gamma, más penetrantes. Siempre que este método sea utilizado con residuos cortopunzantes, deben ser triturados antes de ser enviados al relleno sanitario. Este proceso no es recomendable para residuos anatomopatológicos y de animales.

2.2.4 Incineración.

Es una rápida descomposición térmica de un material por medio de su oxidación (combustión) y del agregado de aire u oxígeno. Los incineradores generan productos resultantes de una combustión incompleta, tales como monóxido de carbono o ceniza. Además, los residuos no están formados de celulosa solamente,

normalmente contienen metales pesados. También contienen compuestos de gran contenido de cloro o flúor. Como resultado las reacciones que ocurren dentro de un incinerador producen subproductos tóxicos como las dioxinas las cuales se emiten al aire desde la chimenea del incinerador.

2.2.5 Desactivación de alta eficiencia física – químico – seco.

procesa los residuos clínicos mediante el uso del único químico seco aprobado por la EPA para el tratamiento de los residuos hospitalarios llamado ColdSter, llevándolos a un estado irreconocible de total desinfección y con una reducción del volumen del 70%, además de la reducción en el impacto al medio ambiente y a la salud humana. La mezcla de agua y el ColdSter crea un ambiente alcalino que permite la destrucción de cualquier agente patógeno presente en la corriente residual.

El último método se constituye como un proceso innovador en el país en cuanto a procesamiento de los residuos clínicos y similares. Este proceso será la base del objeto de estudio de esta investigación. A continuación, se desarrolla de manera específica como es el proceso de desactivación de alta eficiencia desde la generación del residuo hasta su disposición final (CVC, 2014).

2.3 PROCESO DE DESACTIVACIÓN DE ALTA EFICIENCIA FÍSICA – QUÍMICO – SECO

Todo inicia con la generación del residuo en la entidad de salud, estos residuos son clasificados, almacenados y despachados a la planta de tratamiento que va a desarrollar la desactivación y gestión final del residuo.

2.3.1. Generación y clasificación en la fuente.

La generación de los residuos hospitalarios tiene varios focos de origen que en la mayoría de veces van de la mano con el tipo de residuos hospitalario. A continuación, analizan los focos de generación de residuos hospitalarios más representativos al interior de un centro de salud (CVC, 2014). Estos los reconoceremos según el tipo de residuo hospitalario que genere:

- **Biosanitarios y cortopunzantes:** Cuando un miembro del personal médico (médicos, enfermeros, odontólogos, etc.) emplea en la realización de sus actividades con los pacientes algún tipo de producto que tras su uso debe ser botado. Algunos ejemplos de estos productos son guantes látex, jeringas, gasas, vendas, bolsas de suero, mangueras plásticas, empaques de medicamentos, etc... En caso de ser residuos biosanitarios estos son

depositados en bolsas plásticas rojas que son selladas herméticamente una vez se llenan. En el caso de que sean de tipo cortopunzantes son depositados en contenedores plásticos de color rojo más comúnmente llamados “guardianes” los cuales también son sellados en el momento en que se llenan.

- **Anatomopatológicos:** Generalmente en las actividades relacionadas con cirugías y partos donde se generan residuos de descomposición rápida. Algunos ejemplos de estos residuos son amputaciones de partes humanas, placentas, muestras de sangre, fetos, etc. Estos residuos son embalados inmediatamente en bolsas plásticas rojas las cuales son rotuladas. En el caso de los residuos de animales pasa de la misma manera que con los anatomopatológicos.

2.3.2. Almacenaje Del generador.

Una vez empacados los residuos hospitalarios son almacenados en una zona de bodegaje especialmente dispuesta para ellos. En el caso de los residuos biosanitarios y cortopunzantes se ubican en canastas plásticas a temperatura ambiente mientras que los anatomopatológicos y de animales son depositados también en canastas plásticas, pero en un cuarto frío o nevera según su cantidad que asegure un ambiente con temperatura de -2 a 4 grados centígrados. Una vez realizada esta actividad estos residuos inician una cadena de frío similar a la que son sometidos algunos alimentos en una cadena de suministro la cual en este caso solo puede ser rota justo antes de realizar el procesamiento de desactivación del cual se hablara en profundidad más adelante.

2.3.3. Despacho.

Los residuos son despachados una vez llega la ruta hospitalaria de recolección la cual es una empresa privada contratada de manera libre por el centro de salud. El personal de recolección procede a revisar el peso de los residuos hospitalarios según su tipo y lo ubican en el camión el cual también cuenta con servicio de refrigeración para no romper la cadena de frío de los residuos anatomopatológicos. La ruta hospitalaria debe llevarse la totalidad de los residuos hospitalarios almacenados para que el personal de aseo de centro de salud pueda realizar las labores de aseo y desinfección.

2.3.4 Almacenaje de la empresa encargada de la gestión del residuo.

Una vez ingresados los residuos a la planta de tratamiento estos son almacenados según su tipo de la siguiente manera: los residuos biosanitarios y cortopunzantes son almacenados en isocontenedores por separados. Por su parte los residuos anatomopatológicos y de animales son almacenados en canastas dentro de un

cuarto frío hasta que sean procesados para conservar la cadena de frío en la que deben permanecer.

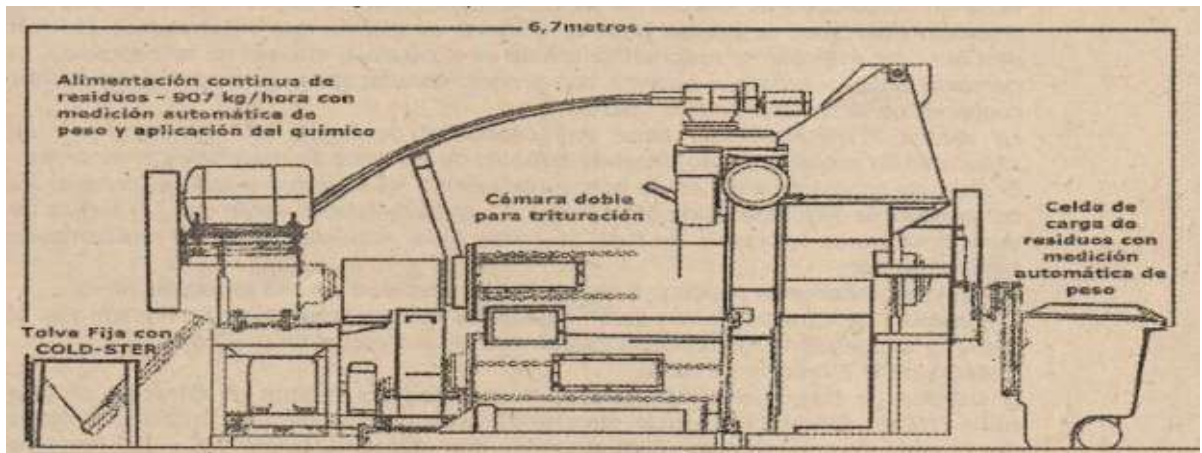
2.3.5 Procesamiento.

En palabras de la CVC, esta tecnología consiste en un proceso de trituración en dos cámaras y la aplicación de un agente químico denominado ColdSter para desinfectar los residuos. Este químico es un producto seco tipo biosida el cual es el único producto químico avalado por la agencia de protección ambiental de los estados unidos (EPA) para el tratamiento de los residuos hospitalarios. La carga de residuos a procesar es siempre de aproximadamente 50 kilos de residuos con las siguientes proporciones: 80% de residuos biosanitarios, 10% de cortopunzantes y 10% de anatomopatológicos y de animales. La carga se constituye de esta manera por dos razones fundamentales. La primera es que la máquina trituradora tiene mayor facilidad para procesar los residuos con esta proporción y la segunda es, como se evidenció en los datos suministrados anteriormente sobre las cantidades de residuos hospitalarios, que esas son las proporciones estadísticas de la generación de residuos hospitalarios, lo cual asegura un procesamiento equilibrado de todos los tipos de residuos hospitalarios que llegan a la planta.

La carga es pesada mediante una báscula digital integrada al software de la máquina, la cual de acuerdo al peso de residuo identificado de forma automática determinará qué cantidad de agua y de ColdSter depositará en la primera etapa del proceso al interior de la máquina. Es así como la carga es ingresada a la máquina de manera semiautomática.

Inmediatamente los residuos ingresan a la máquina, una niebla de agua se añade para activar la desinfección. Los residuos son empujados a través del proceso de trituración y corte hasta que son lo suficientemente pequeños para pasar desde la cámara de la parte superior a la parte inferior. En la cámara inferior, el residuo continúa siendo triturado para luego ser forzado a salir a través del tornillo sinfín de descarga. La trituración reduce el volumen de residuos en alrededor de un 70%. La mezcla de agua y el ColdSter crea un ambiente alcalino que permite la destrucción de cualquier agente patógeno presente en la corriente residual (CVC, 2014). Ver ilustración 1.

Ilustración 1: Proceso de desactivación físico – químico – seco.



Fuente: (CVC, 2014).

La CVC ha autorizado que los residuos producto del proceso de esta tecnología se les dé una disposición final conjunta con los residuos no peligrosos generados por las entidades hospitalarias, es decir, un manejo propio de residuos ordinarios. Es importante resaltar que este proceso no produce emisiones a la atmósfera o aguas residuales u otros peligrosos subproductos como si lo hacen actividades como la incineración. El producto de este proceso no presenta olores debido a una característica inhibidora presente en el químico que se emplea para la desactivación de los residuos. También es de considerarse que al no haber combustión en el proceso los polietilenos presentes conservan un alto potencial de reciclaje. Es importante resaltar que este proceso no produce emisiones a la atmósfera o aguas residuales u otros peligrosos subproductos como si lo hacen actividades como la incineración, así como que la desactivación de alta eficiencia físico – químico – seco a diferencia de los otros métodos mencionados es eficiente para la desinfección de residuos anatomopatológicos y de animales, asegurando su destrucción y desinfección. Los reducidos desactivados se caracterizan en su volumen en alrededor del 70%, con un PH en un rango entre 11 y 12.5, sin rastro de olores, irreconocibles mediante inspección ocular y los polietilenos presentes en el residuo permanecen presentes debido a que no hay combustión en el proceso(CVC, 2014). (Ver Figura 2).

Ilustración 2: residuos hospitalarios desactivados.



Fuente: (CVC, 2014).

3. GENERACIÓN LA GENERACIÓN DE MADERA PLÁSTICA A PARTIR DE RESIDUOS HOSPITALARIOS.

3.1 MADERA PLÁSTICA

La madera plástica es un producto industrial obtenido mediante la extrusión de materias primas 100% recicladas, compuestas por polietilenos y polipropilenos debidamente dosificados los cuales provienen de desechos industriales y rurales. El producto final es un producto totalmente ecológico el cual ayuda a preservar los recursos naturales y evita la contaminación ambiental y la tala de bosques.

La madera plástica tiene características similares a la madera natural, lo que lo convierte en el producto ideal para fabricar estibas, guacales, corrales, establos, pesebreras, comederos, saladeros, casas de mascotas, parques, formaleas, pisos para cuartos fríos, superficies de trabajo y carrocerías, entre otros. Sus características tienen múltiples ventajas, estas se listan a continuación (MADERPLASTIC, 2016a).

- Su vida útil es de más de 100 años en condiciones climáticas extremas.
- No requiere pintura, anticorrosivos y plaguicidas.
- Es inmune a insectos, plagas, hongos, bacterias y roedores.
- No recibe ni almacena agentes fitosanitarios.
- Es resistente a factores climáticos.
- Es totalmente térmico.
- No sufre alteraciones entre los -40° y los $+70^{\circ}\text{C}$.
- No contiene químicos perjudiciales para la salud.
- Fomenta el reciclaje.
- Amigable con el medio ambiente: evita la tala indiscriminada de árboles.
- Reduce la demanda de materias primas vírgenes.
- Ayuda a disminuir la contaminación.
- Es resistente a fuertes impactos, a la tracción y a la flexión.
- Es más liviana que el concreto.
- No se astilla ni se parte fácilmente.
- No constituye riesgo al manipularla.
- Se puede serruchar, grapar, taladrar, clavar con puntillas o tornillos, perforar cepillar y formar con todo tipo de maquinaria para carpintería.
- Es impermeable, no recoge humedad, no se pudre ni se oxida.
- Es piro resistente, resiste el fuego directo, no transmite la llama.
- Es aislante térmica y eléctrica.
- No requiere mantenimiento.
- Resistente a solventes.

- Fácil de limpiar (jabón y agua).
- Completamente sólida.
- Se fabrica en cualquier medida, para cualquier peso y carga.

3.1.1 Antecedentes de causales de la generación de madera plástica.

La madera plástica es un producto fabricado a partir de mezclas de polímeros reciclados, el cual es ideal para diversos usos y aplicaciones. Se considera como un producto atractivo para muchos proyectos debido a su costo, calidad adecuada y beneficios ambientales ya que se caracteriza por ser un material reciclado y reciclable. Se ha definido este producto como un perfil extruido o prensado de polipropileno y/o polietileno de baja densidad que posee características similares a la madera natural, manteniendo su apariencia y mejorando las propiedades de resistencia a la acción de los agentes climáticos. El uso de este producto se orienta a su aplicación en la construcción de perfiles para terrazas, barandas, balcones, cercos de antejardín, estibas, etc. Las maderas plásticas son una alternativa práctica que se presenta a la industria para sustituir o complementar las naturales en algunas aplicaciones y usos. Desde hace varios años se vienen utilizando los materiales compuestos como opciones a los materiales tradicionales, debido a las adecuadas propiedades químicas, físicas y mecánicas que estos presentan, como lo son el bajo peso y acabados que se pueden obtener con estos (Santiago, Londoño, Milena, & Villa, 2009).

3.1.2 Empleos prácticos de la madera plástica.

Dentro la gran cantidad de usos prácticos en los que se puede emplear la madera plástica resaltan líneas de mercado como agrícola y ganadera, amueblamiento urbano, línea industrial y construcción. En el caso de la línea agrícola ganadera la madera plástica satisface múltiples necesidades generadas con productos como comederos para animales, mesas de picnic, mesas de campo, encierros, caballerizas y casas de mascotas (Ver ilustración 3). En este tipo de ambientes las características de resistencia del material a condiciones extremas del medio ambiente la hacen muy atractiva en términos de durabilidad (MADERPLASTIC, 2016b).

Ilustración 3: Productos de línea agrícola en madera plástica.



Fuente: (MADERPLASTIC, 2016b).

Debido a su gran versatilidad, la madera plástica puede ser torneada, cepillada, perforada, atornillada y pintada lo cual permite que las expectativas que se generan en el diseño del sector del amueblamiento urbano. En esta línea de aplicación destacan productos como bancas, comedores, puntos ecológicos, basureros, avisos de señalización, dotaciones para centros Recreativos, parques y juegos infantiles, cercados perimetrales, puentes de senderos ecológicos, escenarios como tarimas, graderías, atriles, palcos y tribunas (ver ilustraciones 4 y 5). Estos productos por lo general están a la intemperie, lo cual, como en el caso anterior, hace de la resistencia a las condiciones climáticas una ventaja de la madera plástica. La propiedad de este material de no transmitir llama es una notable ventaja en la realización de juegos infantiles debido a la seguridad que esto puede representar a la hora de un posible accidente con fuego, a diferencia de la madera convencional la cual genera combustión. Como se observa las imágenes presentadas el acabado de los productos de madera plástica es muy similar al acabado que se obtiene usando la madera natural.

Ilustración 4: Productos para amueblamiento urbano de madera plástica.



Fuente: (MADERPLASTIC, 2016b).

Ilustración 5: Juegos infantiles construidos con madera plástica.



Fuente: (MADERPLASTIC, 2016b).

La madera plástica dentro de sus alternativas, como se mencionó, también ofrece soluciones ideales y eficientes para la construcción, incrementando la productividad y utilidad de este sector debido a los bajos costos de los productos hechos en este material. Dentro de sus productos más representativos están los pisos decorativos, maderas de exteriores, materiales para acueductos y alcantarillados, baños y duchas móviles, kioscos, casetas removibles, materiales para redes eléctricas, postes y crucetas (Ver ilustración 6).

Debido a su alta resistencia y estabilidad dimensional dada por su gran similitud a la madera natural. Adicional a su gran resistencia a la corrosión, al agua, los ácidos, al ataque bioquímico y a la intemperie, características ausentes en la madera natural, hacen que este material cumpla con las características más comunes requeridas en los procesos industriales. Es así como productos como estibas, tablas, postes estándar y en cruz, casilleros plásticos, carretillas industriales, estanterías, rejillas industriales, equipamiento militar, muelles marinos como embarcaderos flotantes, fijos, astilleros y pisos industriales en madera plástica se ubican como alternativas viables para su uso en casi cualquier entorno industrial.

Ilustración 6: Productos de madera plástica de la línea de la construcción.



Fuente: (MADERPLASTIC, 2016b).

Otro campo en que los productos de madera plástica han tomado mucha relevancia es el Vial. En este campo la alta resistencia, el color que puede ser integrado al producto y el grado de flexibilidad que evita la fácil ruptura permite que estos productos se constituyan como una solución a múltiples problemas viales (ver ilustración 7).

Ilustración 7: Productos de madera plástica en el campo vial.



Fuente: (MADERPLASTIC, 2016b).

3.1.3 Alternativas de generación de madera plástica a partir de residuos.

La madera plástica tiene múltiples formas de ser compuesta, dentro de las grandes cantidades de formas se han desarrollado muchas mezclas a partir de materiales plásticos, pero en combinación con otros tipos de materiales compuestos por residuos de en muchos casos procesos industriales. Es así como resultados positivos de investigaciones en este campo permiten abrir un sendero de posibilidades para los residuos hospitalarios desactivados. A continuación, se mencionan algunas investigaciones realizadas alrededor de la producción de madera plástica con base en residuos de procesos industriales.

3.1.3.1 Madera plástica con paja de trigo y matriz polimérica.

El en Valle de Mexicali en Baja California (México), el principal motor de la economía se centra en las actividades agrícolas y la industria maquiladora. No obstante, la actividad agrícola genera grandes cantidades de residuos que contribuyen en gran medida a la contaminación del valle, con el pasar del tiempo los residuos generados por esta actividad son quemados a cielo abierto como práctica cotidiana con el fin de preparar la tierra para próximas cosechas. Si se entiende que los residuos agrícolas son de la cosecha de cultivos como paja de

trigo, maíz, cártamo y cebada. Se estudia en esta investigación una alternativa de rehúso para los residuos de paja de trigo generados en el valle de Mexicali. De acuerdo a las características técnicas de este residuo, proponen utilizarlo como material de refuerzo en una matriz polimérica de resina epoxi para elaborar un material compuesto y obtener madera plástica. Luego de someter el material y distintas pruebas, el resultado obtenido muestra que la madera plástica a partir de residuos de paja de trigo muestra propiedades mecánicas similares a las de la madera convencional (Toscano-palomar, 2013).

En las conclusiones de la investigación se plantea que *“La Madera Plástica obtenida en cada una de las combinaciones presenta una estructura uniforme y homogénea y una textura fina, que permite que sus dos caras tengan un buen acabado. Es posible trabajarla de igual manera que a la madera sólida”*.

3.1.3.2 Aprovechamiento de polipropileno y polietileno de alta densidad reciclado y reforzado con fibra vegetal (Stromanthe Stromathoides).

La utilización de componentes vegetales para la generación de madera plástica ha sido muy frecuente, esto se debe a que se logran mejorar algunas propiedades mecánicas del material. Esto se evidencia en la fabricación de madera plástica a partir de una mezcla en proporciones adecuadas de polipropileno y polietileno de alta densidad reciclados, como matriz polimérica con cantidades optimas de fibra vegetal tetera (Stromanthe Stromathoides). Este tipo de madera en comparación con la madera convencional, después de realizar pruebas de comprensión, flexión, y tensión muestra que la fibra no aumenta la resistencia, pero si aumenta su ductilidad, lo que puede ser aprovechado como ventaja para materiales que requieran ser livianos y muy deformables.

La tetera (Stromanthe Stromathoides) es una fibra usada como materia prima en artesanías y se cultiva en la región de Ricaurte, en el departamento de Nariño Colombia. Como fibra de origen vegetal contiene una combinación de diferentes constituyentes vegetales heterogéneos, como la lignina, la pectina y la celulosa. Otras investigaciones que incluyen refuerzos de plásticos empleando fibras provenientes de residuos textiles de algodón y lino, entre otras fibras vegetales de desecho, argumentan que las propiedades de estos materiales son compatibles para obtener el producto final (Madera Plástica) (Sobiecka, Obraniak, & Antizar-Ladislao, 2014) .

3.1.3.3 Caracterización de los materiales plásticos reciclados provenientes de la industria bananera empleados para la elaboración de madera plástica.

La industria Bananera perteneciente al sector agrícola en Colombia, actualmente es una de las más importantes junto con la industria del café, la caña de azúcar, las flores y la palma africana. Existen en el país grandes cultivos de banano, los

cuales deben de protegerse de las diferentes plagas y hongos a los que puedan estar expuestos durante los procesos de embalaje, transporte y distribución.

Los racimos de bananos en los cultivos bananeros se protegen mediante el recubrimiento de películas plásticas, también llamada cubierta flexible de Polietileno de Baja densidad. A medida que la industria bananera se ha incrementado, la generación de residuos de materiales plásticos de esta industria en el país se ha incrementado significativamente, residuos que se han dispuesto enterrándolos en rellenos sanitarios.

Adicionalmente Colombia se caracteriza por tener grandes plantas de producción de polipropileno (Cartagena) y de polietileno de baja densidad (Barrancabermeja), plantas que generan grandes proporciones de desechos de estos materiales.

Por lo anterior es importante buscar alternativas de rehúso y reciclaje para los residuos generados en las dos actividades económicas mencionadas con antelación. Es así como la Madera Plástica se convierte en una muy buena opción para los materiales plásticos reciclados en especial los provenientes de la industria bananera, polipropilenos y polietileno de baja densidad (Santiago et al., 2009).

3.2 PROCESOS REQUERIDOS PARA LA GENERACIÓN DE MADERA PLÁSTICA A PARTIR DE RESIDUOS HOSPITALARIOS DESACTIVADOS

La madera plástica es un material ideal para utilizarlo en diversos espacios y con múltiples aplicaciones en la industria, el hogar y demás espacios. Es un producto fabricado a partir de mezclas de polímeros que generalmente son reciclados. Sus características físicas en comparación con la madera convencional son muy similares y en casos específicos como la flexibilidad o impermeabilidad del material incluso mejores, su producción es de bajo costo. Resalta también que es un producto que reduce el daño al medio ambiente desde varios aspectos. Todo lo anterior lo constituyen como un producto de muchos atractivos y variedad de posibles aplicaciones.

En una caracterización de los materiales plásticos reciclados provenientes de la industria bananera empleados en la elaboración de madera plástica se menciona que *“Se ha definido este producto como un perfil extruido o prensado de polipropileno y/o polietileno de baja densidad que posee características similares a la madera natural, manteniendo su apariencia y mejorando las propiedades de resistencia a la acción de los agentes climáticos, el uso de este producto se orienta a su aplicación en la construcción de perfiles para terrazas, barandas, balcones, cercos de antejardín, estibas, etc.”* (Santiago et al., 2009)

A continuación, se describen los procesos empleados para la elaboración de madera plástica a partir de residuos hospitalarios desactivados:

3.2.1 Molienda.

Funciona como una licuadora tamaño industrial, donde se trituran los desechos. La trituradora está constituida por una unidad de carga con las características de una simple tolva la cual tiene que disponer el material de la mejor manera posible dentro del grupo de trituración con el fin de evitar cualquier inconveniente posible durante la molienda. La acción de corte de la trituradora se produce mediante una serie de cuchillas que al cruzarse machacan al producto. Los elementos principales del sistema son unos discos de cantos agudos provistos de garfios, cuya función consiste en agarrar el producto y llevarlo hasta las cuchillas montadas sobre ejes motores contra giratorios, que realizan un corte neto del material. El material pasa a un tamiz, donde solo pasan a la unidad de recolección las partículas suficientemente pequeñas, las grandes son agarradas nuevamente por las cuchillas para molerlas, hasta obtener la dimensión aceptada.

3.2.2 Aglutinado.

Como segundo paso del proceso propiamente productivo de madera plástica esta la aglutinación la cual se realiza con una máquina llamada aglutinadora. Los materiales plásticos flexibles son ingresados a la aglutinadora la cual granulada el material. Tras el proceso de aglutinado esta materia prima será almacenada nuevamente en súper sacos a la espera de la posterior fase del proceso productivo de madera plástica. Se usa generalmente para la compactación de materiales plásticos flexibles como bolsas plásticas, rompiéndolas en pequeños pedazos que puedan ser usados de nuevo como materia prima. Las bolsas son introducidas en la unidad de carga, donde cuchillas giratorias actúan como aspas de molino, para partirlas en pequeños pedazos. Cuando se han obtenido partículas del tamaño deseado, se abre la compuerta de salida, para recoger el material.

Como métodos de manufacturado para los materiales plásticos de tipo termoplásticos se encuentran la extrusión, inyección y termo formado. A continuación, se describe cada uno de estos procesos. De estos procesos se seleccionará uno solo el cual será añadido a la línea de producción (Alberto, Rita, Marta, & Paula, 2004).

3.2.3 Procesos de conformado (termoplásticos).

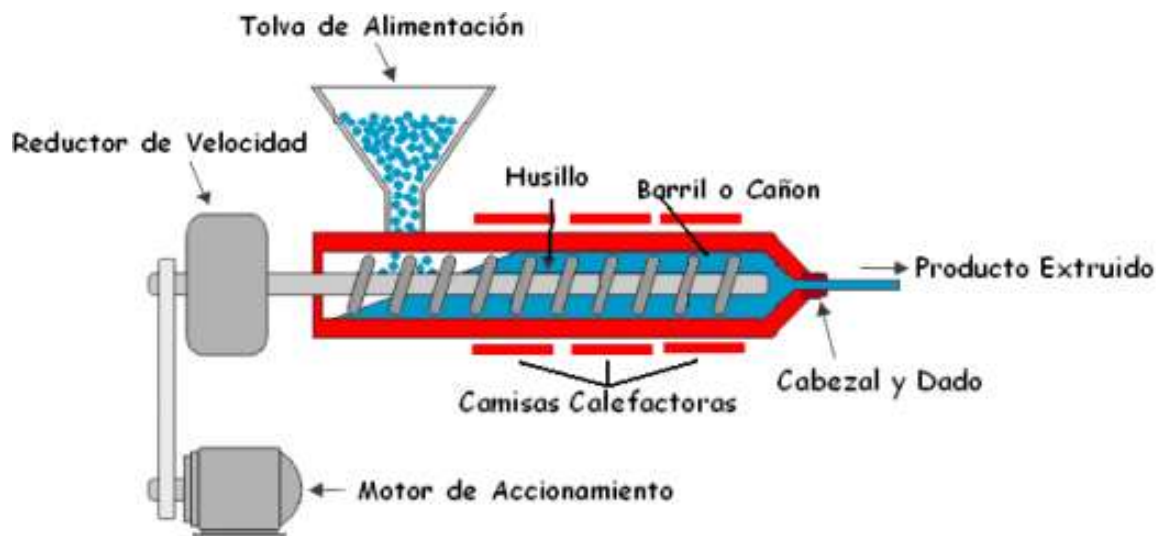
3.2.3.1 Extrusión.

Ambas materias primas (residuos desactivados y residuos plásticos convencionales), serán ingresadas a una extrusora en las proporciones especificadas por el coordinador de planta para un determinado producto final requerido. Al interior de la extrusora los materiales alcanzarán una temperatura

aproximada de 120°C, esto debido a que el residuo desactivado está integrado por diferentes tipos de plástico y por ende diferentes puntos de suavización y se debe asegurar que todos los materiales alcancen ese punto.

Seguidamente el material será ingresado en los moldes seleccionados para determinados productos finales de acuerdo a las formas y tamaños requeridos. Una máquina de extrusión consta de un eje metálico central con álabes helicoidales, llamado husillo o tornillo, instalado dentro de un cilindro metálico (cañón), revestido con una camisa calefactora de resistencias eléctricas. En un extremo del cilindro se encuentra un orificio de entrada para la materia prima, donde se instala una tolva de alimentación, generalmente de forma cónica; en ese mismo extremo se encuentra el sistema de accionamiento del husillo, compuesto por un motor y un sistema de reducción de velocidad. En la punta del tornillo, se ubica la salida del material y el dado que da la forma final al producto plástico. (Ver figura 8).

Ilustración 8: Diagrama de Extrusora.



Fuente: (Alberto et al., 2004).

Las partes y funciones de la extrusora se listan y describen a continuación:

Tolva: La tolva es el depósito de materia prima granulada para la alimentación continua del extrusor.

Barril o Cañón: Es un cilindro metálico que aloja al husillo y constituye el cuerpo principal de una máquina de extrusión. El cañón cuenta con resistencias eléctricas que proporcionan una parte de la energía térmica que el material requiere para ser fundido. El sistema de resistencias, en algunos casos va complementado con un

sistema de enfriamiento (que puede ser flujo de líquido o por ventiladores de aire), para controlar mejor la temperatura exacta del material.

Husillo: Los filetes, recorren el husillo de un extremo al otro y son los verdaderos impulsores del material a través del cañón. Las dimensiones y formas que éstos tengan, determinará el tipo de material que se pueda procesar y la calidad de mezclado de la masa al salir por el dado.

Camisas calefactoras: Todo el sistema de calentamiento es controlado desde un tablero, donde las temperaturas de proceso se establecen en función del tipo de material y del producto deseado. Es de suma importancia que las temperaturas que se apliquen al producto sean las correctas ya que esto puede alterar las características finales del producto. Dado de Extrusión: El dado en el proceso de extrusión es como el molde en el proceso de moldeo por inyección: a través del dado fluye el polímero fuera del cañón de extrusión y gracias a éste toma el perfil que se busque; el perfil del dado suele ser diferente del perfil deseado en el producto final, debido a la memoria que presentan los polímeros, esfuerzos residuales y orientación el flujo resultado del arrastre por el husillo.

3.2.3.2 Inyectora.

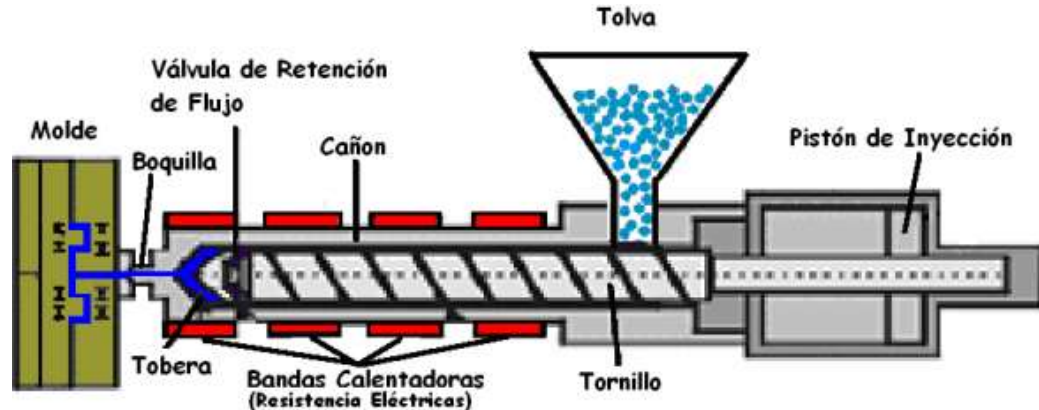
El proceso de inyección consiste en introducir el plástico granulado dentro de un cilindro, donde se calienta. En el interior del cilindro hay un tornillo sinfín que actúa de igual manera que el émbolo de una jeringa. Cuando el plástico se reblandece lo suficiente, el tornillo sinfín lo inyecta a alta presión en el interior de un molde de acero para darle forma. Es un método que genera ahorros en tiempo y dinero cuando es usado para la producción en serie. Este proceso es apropiado para todos los termoplásticos con la excepción de los fluoroplásticos de politetrafluoroetileno (PTFE), las polimidas y algunos poliésteres aromáticos. La inyección es útil debido a su alto índice de productividad, pues brinda la posibilidad de aplicar cargas e insertos a los polímeros; permite moldear piezas pequeñas con márgenes de dimensión ajustados y deja la posibilidad de moler y volver a utilizar los desechos termoplásticos (ver fig.9).

El proceso de inyección tiene un ciclo de moldeo el cual se lista a continuación:

1. Cerrar el molde.
2. Subir la temperatura para plastificar el material.
3. Se empuja el material caliente hacia la cavidad del molde.
4. Mantener presión en el tornillo hasta que se enfría el plástico
5. Retroceder el tornillo para recoger material nuevo de la tolva y plastificar nuevamente.

6. Enfriar el molde para posteriormente extraer la pieza.

Ilustración 9: Diagrama de la inyectora.



Fuente: (Alberto et al., 2004)

3.2.3.3 Termo formado.

Este método es empleado para dar forma a láminas de plástico mediante la aplicación de calor y presión hasta que se consiga sean adaptadas a un molde. Con este fin se pueden usar dos posibles procedimientos:

- Efectuar el vacío absorbiendo el aire que hay entre la lámina y el molde, de manera que ésta se adapte a la forma del molde.
- Aplicar aire a presión contra la lámina de plástico hasta adaptarla al molde.

3.2.4 Tanque de enfriamiento.

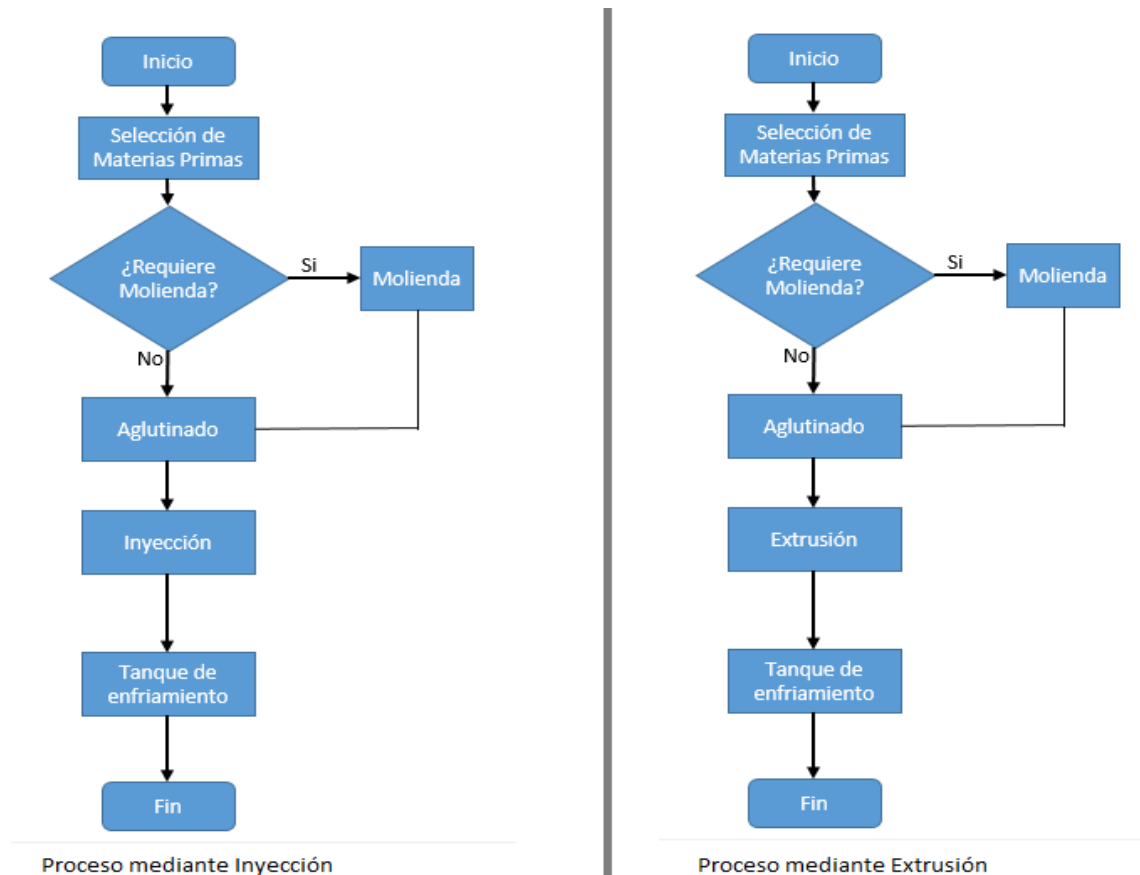
Como una de las últimas etapas del proceso se ubica el enfriamiento del molde que alberga el producto elaborado, esto se hace mediante la inmersión del molde dentro de un tanque de enfriamiento, este es generalmente metálico y permanece lleno de agua a temperatura ambiente a la cual se le ha adicionado aceite soluble. Las piezas que han salido de los procesos de extrusión o de inyección duran aproximadamente 15 minutos dentro del tanque, esto con el fin de disminuir el calor de la pieza para poder ser sacada del molde completamente compacta y manipulable.

3.2.5 Diagrama de flujo.

De acuerdo a los procesos explicados y con el fin de tener una vista panorámica de las formas de producir madera plástica se presentan a continuación los

Diagramas de flujo del proceso de fabricación de madera plástica mediante extrusión e inyección (Ver ilustración 10). De los tres posibles procesos para el manufacturado del material solo se representaran con diagrama la extrusión y la inyección debido a que el termo formado solo sirve para la generación de láminas lo cual limita ampliamente los posibles productos que se podrían producir y por ende hacen de ese proceso de manufactura inviable para los fines de esta investigación.

Ilustración 10: Diagrama de flujo proceso productico madera plástica.



Fuente: Elaboración propia.

4. EVALUACIÓN MEDIANTE INDICADORES DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y AMBIENTAL DE UNA PLANTA GENERADORA DE MADERA PLÁSTICA A PARTIR DE RESIDUOS HOSPITALARIOS DESACTIVADOS.

4.1 DH ECOAMBIENTAL

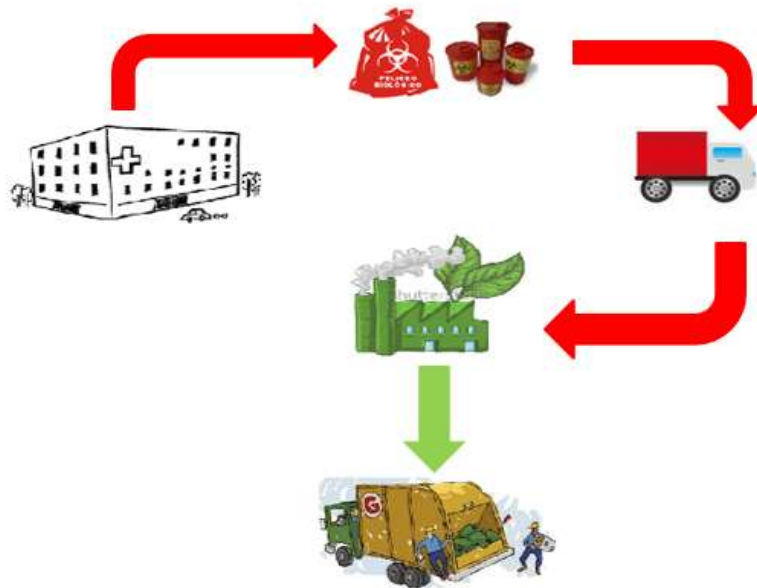
DH Ecoambiental es una empresa Vallecaucana dedicada a la recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final de residuos hospitalarios y peligrosos. Para ello cuenta con la más avanzada tecnología para el tratamiento de los RH fabricada por la compañía estadounidense Positive Impact Waste Solution, denominada PIWS 3000, tecnología que a través de un proceso de desactivación físico química en seco logra eliminar cualquier tipo de bacteria o microorganismo presente en los RH, generando así un residuo totalmente inerte que puede ser depositado en un relleno sanitario como un residuo ordinario. La desactivación del residuo hospitalario se logra a través de un químico en seco compuesto principalmente por óxido de calcio llamado ColdSter, único químico seco aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos EPA (CVC, 2014). Actualmente el proceso de desactivación de Residuos hospitalarios que lidera la empresa DH Ecoambiental es respaldado por varias entidades dedicadas a la preservación del medio ambiente, como lo son la Environmental Protection Agency (EPA), La Organización Mundial de la Salud (OMS) , El Ministerio de Medio Ambiente en Colombia y las Corporaciones autónomas regionales de los departamentos de Valle del Cauca, Cauca, Risaralda, Caldas y Quindío CRQ, CVC, CRC, CARDER, COROPOCALDAS y CRQ respectivamente. Las operaciones de esta empresa se extienden a los departamentos mencionados anteriormente.

DH Ecoambiental tiene operación en su Planta de Tratamiento ubicada en el municipio de Yumbo, Valle del Cauca en el sector de Arroyohondo, en donde cuenta con 16 empleados entre motoristas, ayudantes de motoristas y operarios de la PIWS 3000. Para el proceso de recolección cuenta con una flota de 6 Furgones acondicionados de acuerdo a la normatividad para el transporte de mercancías peligrosas (Decreto 1609). La sede administrativa de la empresa está ubicada en la ciudad de Cali con un total de 6 empleados, aquí se realizan labores de cartera, gestión ambiental, labores diarias de la organización entre otras actividades administrativas (CVC, 2014).

Los residuos hospitalarios desactivados por la empresa Dh Ecoambiental son certificados por la CVC como residuos de tipo ordinario lo cual los hace equivalentes a los residuos domiciliarios. Por este motivo deben ser gestionados como tal. La licencia ambiental dada por la CVC a la empresa Dh Ecoambiental indica que estos residuos deben ser enviados a cualquier relleno sanitario

autorizado del país. Para cumplir con la exigencia de la disposición final la empresa Dh Ecoambiental subcontrata la actividad de transporte y disposición final, del residuo desactivado y lo hace con la empresa SyS de Colombia, la cual tiene una tarifa de \$420.000 por viaje (12 m3 de residuo) al relleno de Colomba Guabal ubicado en el municipio de Yotoco, en el departamento de Valle del Cauca.

Ilustración 11: Flujo de los residuos hospitalarios.



Fuente: Elaboración propia.

La empresa DH Ecoambiental a través del tiempo ha incrementado el número de contratos con entidades de salud, lo que ha disparado la producción y por ende la cantidad de residuos desactivados al final del proceso. A continuación, se presenta un gráfico mediante el cual se relaciona la facturación de la empresa SyS de Colombia a DH Ecoambiental de los últimos meses con relación al servicio de recolección y disposición final de los residuos desactivados:

Ilustración 12: Costos periodo (julio 2015 - enero 2016) por disposición final de residuos hospitalarios desactivados.



Fuente: Dpto. de cartera, Dh Ecoambiental.

El incremento en el costo del servicio de recolección, transporte y disposición final de los residuos desactivados en los últimos meses del año 2015 e inicio 2016 se constituye como un aspecto a mejorar que conllevaría a un beneficio en dos aristas principales: la reducción al impacto ambiental ocasionado por disponer los residuos desactivados en el relleno sanitario y el beneficio económico que se ocasionaría al no pagar o hacerlo en un porcentaje menor por la disposición final de estos residuos.

4.2 Ingeniería del proyecto.

La nueva planta tiene como objetivo la producción de madera plástica a partir de residuos hospitalarios desactivados y otros residuos plásticos reciclados. Los productos principales a generar por la planta serán postes y tablas de diferentes dimensiones, esto para facilitar la etapa de investigación y desarrollo de la iniciativa que no tiene precedente en cuanto al uso de residuos hospitalarios desactivados. En su inicio la forma de producción será de tipo “made to order”. En su inicio los postes y tablas de madera plástica no tendrán especificaciones de resistencia o flexibilidad por lo cual tendrán como objetivo usos que no impliquen mayores esfuerzos. Los productos terminados serán almacenados en la planta hasta que sean comercializados. A continuación, se definirá todo lo concerniente a la instalación y funcionamiento del establecimiento.

4.2.1 Proceso de producción.

Será una sola línea de producción para la generación de ambos productos. La línea de producción tendrá forma de U e iniciará con la selección de materias

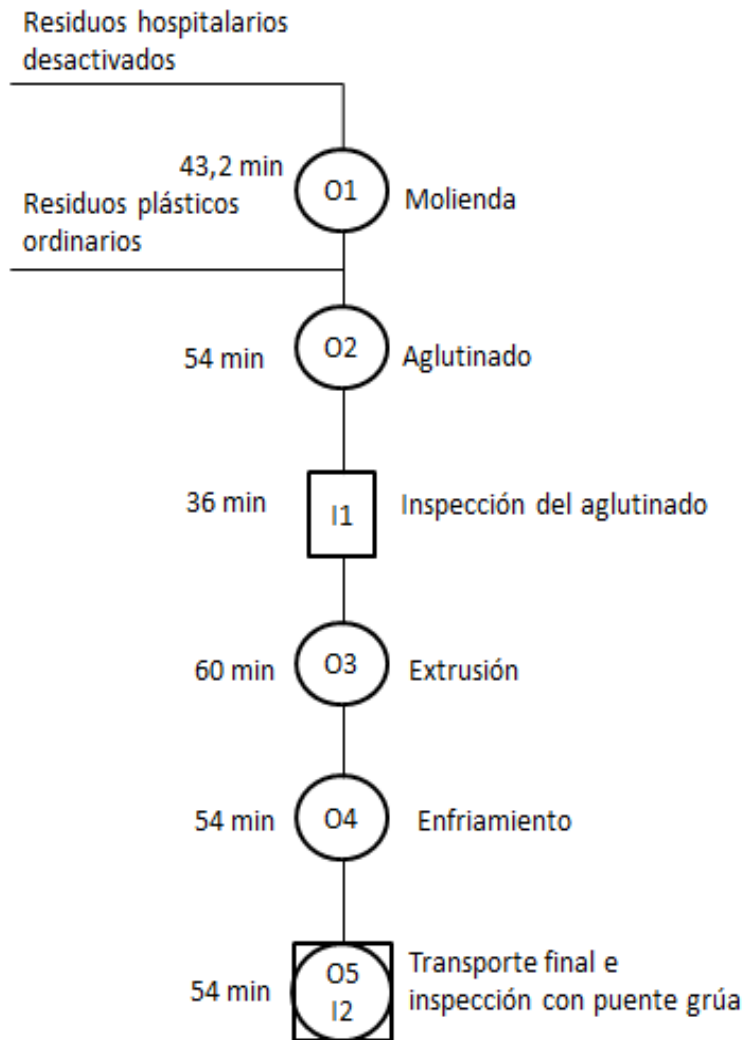
primas que según su tipo ingresaran al proceso de molienda o directamente aglutinado. Todas las materias primas deben pasar por la aglutinadora y una vez hecho esto serán ingresadas en diferentes proporciones a la máquina extrusora, la cual inyectará la mezcla en un molde el cual será enfriado. Una vez bajada la temperatura del material se procederá a sacar el producto final y a almacenarlo tras una inspección.

De los dos posibles procesos de manufactura de madera plástica mencionados se ha elegido para estudiar en detalle como base de la generación de madera pastica a partir de residuos hospitalarios desactivados el proceso de extrusión debido a que esta mejor alineado con los intereses que la empresa Dh Ecoambiental tiene con el proyecto. Las razones se mencionan a continuación:

- La extrusión permite mayor volumen de producción.
- El proceso de inyección es comúnmente más usado para la realización de piezas finas de madera plástica finas o con acabados de mejor detalle.

A continuación, y con el fin de entender de una manera más clara el proceso de la generación de madera plástica presenta a continuación el diagrama de operaciones del proceso:

Ilustración 13: Diagrama de operaciones del proceso de producción de madera plástica a base de residuos hospitalarios desactivados.



Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Producto

A continuación, en la tabla 2 se muestra la ficha técnica de los productos de madera plástica que podrían ser producidos inicialmente en la planta, estos productos fueron elegidos por la simplicidad en su forma debido a que el proyecto de generar madera plástica a partir de los materiales mencionados está en desarrollo y no puede iniciarse con productos con formas de mayor complejidad. Sin embargo y como ya se mencionó anteriormente se ha elegido un proceso de producción con cierta flexibilidad para la generación de diferentes productos, esto con el fin de permitir la ampliación del catálogo de productos de ser necesario y

posible con las materias primas a usarcé con el transcurrir del tiempo a avance de la investigación.

Tabla 2: Ficha técnica prototipo de productos de madera plástica:

NOMBRE DEL PRODUCTO	POSTE DE MADERA PLASTICA	TABLA DE MADERA PLASTICA
DESCRIPCIÓN GRAFICA		
GENERALIDADES	Poste de madera plastica a partir de residuos hospitalarios desactivados y otros residuos plasticos. Forma rectangular y un tono grisaseo propio del proceso y no alterado por colorantes.	Tabla de madera plastica a partir de residuos hospitalarios desactivados y otros residuos plasticos. Forma rectangular y un tono grisaseo propio del proceso y no alterado por colorantes.
CARACTERÍSTICAS	superficies lisas. Dimensiones: Longitudes desde 80 cm hasta 2 metros con variaciones cada 20 cm.	superficies lisas. Dimensiones: Longitudes de 1 m, 1,2 m, 2 m y 2,9 m. Con espesor para todas las longitudes de 3 cm.
MATERIAS PRIMAS	Residuos hospitalarios desactivados, polietilenos y prolipopilenos.	Residuos hospitalarios desactivados, polietilenos y prolipopilenos.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Materias Primas.

A continuación, se describe las materias primas requeridas, así como su procedencia y cantidades necesarias.

4.2.3.1 Residuos hospitalarios desactivados.

Estos residuos proceden de la planta Dh Ecoambiental, son obtenidos del proceso de desactivación de alta eficiencia al que son sometidos los residuos hospitalarios. Una vez terminando este proceso estos residuos deberán ser sometidos a las pruebas microbiológicas que exige la CVC para garantizar el estado de desactivación de los residuos. Estas pruebas serán realizadas por un laboratorio acreditado por el IDEAM quien deberá emitir un certificado que garantice la desactivación de residuos hospitalarios. Los análisis requeridos serán los mismos que se detallan en el capítulo anterior como requerimiento para que la empresa Dh Ecoambiental envíe los residuos desactivados al relleno sanitario. Estos residuos serán transportados de la planta de Dh Ecoambiental a la planta de madera plástica empacados en súper sacos con capacidad de una tonelada. La frecuencia

de recepción de residuos hospitalarios desactivados será según las metas de producción que tenga fijadas la planta de madera plástica y será diario, esto para evitar el exceso de inventarios y para aprovechar que la planta de Dh Ecoambiental tiene una salida diaria de residuos desactivados. Los residuos hospitalarios desactivados que no sean requeridos por la planta de madera plástica serán despachados al relleno sanitario rigiéndose al procedimiento que se sigue actualmente.

4.2.3.2 Materiales plásticos.

Se deberán almacenar materiales plásticos de características flexibles como bolsas plásticas y empaques no rígidos. Estos materiales serán necesarios para darle características de flexibilidad y dureza al producto final, ya que están compuestos de polietileno y polipropileno respectivamente. Esta materia prima se obtendrá de centros de reciclado de materiales plásticos.

La Planta de procesamiento de la empresa DH Ecoambiental S.A.S actualmente recibe alrededor de 4.500 kilogramos de Residuos Hospitalarios diarios de los diferentes generadores en todas las ciudades en las que tiene operación. Cabe aclarar que la cantidad de residuos mencionada se procesa en un turno de 8 Horas, de esta manera en una hora de trabajo se procesan aproximadamente 560 Kilogramos de residuos hospitalarios. Es de tener en cuenta que la capacidad técnica de la tecnología PIWS 3000 es de 960 kilogramos en una hora. De esta manera la planta productora de madera plástica tendrá acceso inicialmente a alrededor de 4 toneladas de residuos hospitalarios desactivados. El máximo teórico a la planta de madera plástica podrá tener acceso de residuos desactivados será de 960 kilos diarios el cual es la capacidad de desactivación de la planta de Dh Ecoambiental (CVC, 2014).

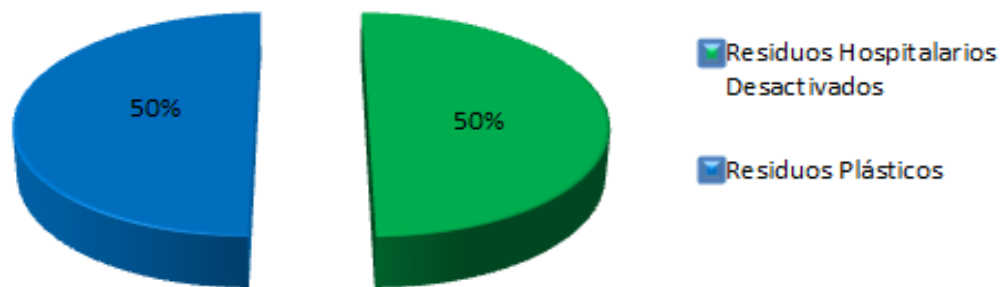
Para la obtención de los residuos plásticos la empresa deberá comprar a una distribuidora de materiales reciclados la cantidad de polietileno y polipropileno necesaria para la operación. Este convenio se realiza mediante un contrato comercial firmado por ambas partes, en el que la empresa recicladora deberá garantizar la disponibilidad del material solicitado y suministrarlo a tiempo.

4.2.4 Composición de Madera Plástica.

La empresa DH Ecoambiental ha destinado a un ingeniero de materiales para la ejecución del proyecto de fabricación de Madera Plástica a partir de los residuos desactivados. Dicho ingeniero ha definido una mezcla inicial para la fabricación del producto en cuestión, la fórmula está compuesta con los siguientes porcentajes: 50% Residuos Plásticos (20% Polietileno, 30 % Polipropileno) y 50 % de Residuos hospitalarios desactivados (ver ilustración 14).

Ilustración 14: Distribución porcentual de la madera plástica.

Composición Madera Plástica



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los procesos descritos en el Diagrama de producción, es importante aclarar que durante el paso de las materias primas por toda la línea de producción hay una pérdida de peso despreciable relacionada a la inspección realizada posterior al proceso de aglutinado. Por ende, se trabaja bajo el supuesto de que no ocurren pérdidas de peso durante el proceso. Teniendo en cuenta el supuesto de que no hay pérdida de peso en el proceso, las cantidades requeridas de materias primas son 30% residuos hospitalarios desactivados y 70% de residuos plásticos. De esta manera si se requieren 1000 kilogramos de Madera Plástica como producto terminado, se necesitarán 300 kilogramos de residuos hospitalarios desactivados y 700 kilogramos de residuos plásticos, de estos 700 kilogramos el 30% corresponderá a materiales polietilenos y el 40% a materiales polipropilenos.

Como subproducto de esta investigación se realizó una publicación científica la cual fue expuesta en el 6th Amazon & Pacific Green Materials Congress and Sustainable Construction Materials LAT-RILEM Conference, evento que tuvo sede en el Hotel NH ROYAL de la ciudad de Cali en el presente año (Lozano & Rivas, 2016).

ANEXO A: Madera Plástica Producida a Partir de Residuos Sólidos Hospitalarios.

4.2.5 Infraestructura.

Actualmente la empresa Dh Ecoambiental cuenta con un predio en el kilómetro 5 vía Cali-Candelaria en el cual se está construyendo un complejo para la realización de procesos ambientales relacionados con sus actividades productivas. Para el desarrollo de la planta en cuestión la gerencia de la empresa ha destinado

una bodega de 400 m². Esta bodega cuenta con servicio de agua no potable y flujo de energía con voltaje 110,220 y 440. Altura libre de 6 metros y piso industrial sellado.

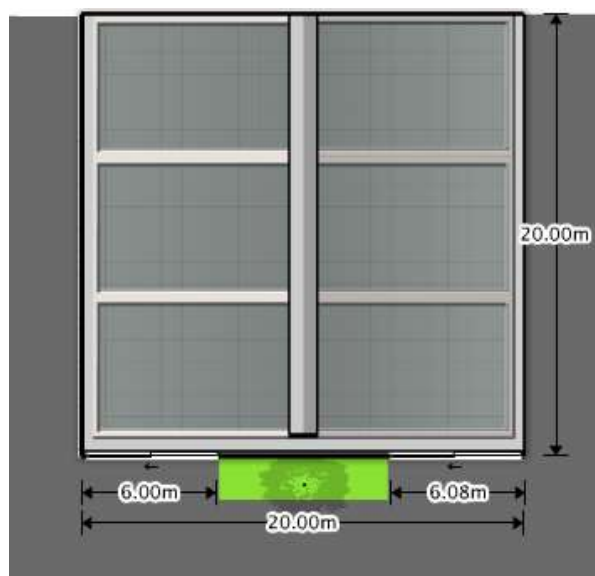
A continuación, se presenta una representación de la fachada de la bodega existente (ver figura 8) y una vista aérea de la misma, donde se pueden apreciar las dimensiones de la bodega, así como de sus vías de acceso (ver figura 15 y 16).

Ilustración 15: Vista frontal de la bodega destinada para la ubicación de la planta de madera plástica.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 16: Vista aérea de la bodega destinada para la ubicación de la planta de madera plástica.

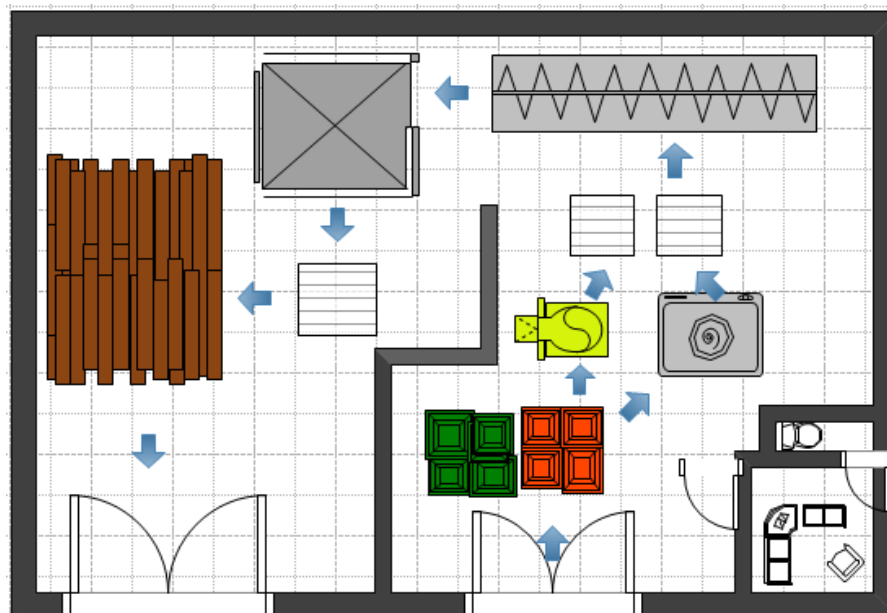


Fuente: Elaboración propia.

3.2.6 Layout.

La planta de procesamiento de Madera plástica a partir de residuos desactivados se instalará en un área aproximada de 400 m² ubicada en el kilómetro 5 en la vía Cali – Candelaria. Dentro de esta área se instalarán los equipos de producción de madera plástica como se presenta en el siguiente Layout, garantizando un flujo adecuado del producto en proceso y del personal de planta (Ver iustración 17).

Ilustración 17: Layout de la planta de madera plástica.



item	Decripción
	Materia Prima (Residuos hospitalarios desactivados)
	Materia Prima (Residuos plasticos)
	Molino
	Aglutinadora
	Extrusora
	Almacenamiento de producto terminado (madera plas
	Tanque de enfriamiento
	Almacenamiento producto en proceso
	Oficina de Jefe de planta
	Baños

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a este Layout se describen las diferentes actividades relacionadas al proceso. Inicialmente inicia cuando el residuo hospitalario desactivado ingresa al sistema junto al residuo plástico convencional y se almacenan en la bodega de materias primas. Posteriormente las materias primas siguen un flujo que está determinado por las flechas de color verde, pasando así, al proceso de molienda o directamente a la maquina aglutinadora para realizar el proceso de aglutinado. Después de esto, el producto en proceso se almacena en un espacio temporal a la espera de la siguiente etapa. Una vez aglutinado el material deberá ser depositado en la maquina extrusora para fundir el plástico y definir una forma de acuerdo al molde ensamblado a esta máquina.

Finalmente, el producto ya ingresado por la extrusora en el molde seleccionado es movido hasta el tanque de enfriamiento donde es depositado por un lapso de 15 minutos, tiempo tras el cual el producto final puede ser retirado del molde sin sufrir daños en su forma. Una vez retirado el producto del molde, este será sometido a una inspección visual que garantice su solides y compactación. El producto ya terminado será almacenado en un espacio donde permanecerá en stock hasta ser comercializado.

Es importante resaltar que para la realización del Layout se utilizó el software EdrawMax, en el cual se puede trabajar sobre una plataforma con espacios y distancias a escala y se pueden agregar elementos como puertas, baños, mesas y demás, siempre manejando las proporciones con elementos reales. Además, se tuvieron en cuenta las dimensiones de las máquinas, equipos, elementos de oficina y de servicio al cliente, para su distribución en la planta, utilizando las medidas ofrecidas por el software.

4.2.7 Maquinaria y equipos

Para la lograr la producción de madera plástica a partir de los residuos son necesarios una serie de equipos y máquinas especializados para este fin. Estos se han definido en base al desarrollo alrededor de esta investigación que se ha generado por parte de la empresa Dh Ecoambiental. A continuación, se mencionan y describen técnicamente. Entre las características que se mencionan están el voltaje requerido, capacidad y referencias de cada equipo (Alberto et al., 2004).

Características Técnicas

Molino:

- Molino de PET 20 HP.
- Voltaje 220V, Trifásico.
- Capacidad de PET sin aplastar 180-230 kg/h.

- Capacidad de PET aplastadas 280 - 350 kg/h.

Aglutinadora:

- Motor de 50hp.
- Volante de impulso de 120 kilos.
- Tarro con capacidad de carga de 40 kilos de material con altura de 60cm y
- Calibre de 1/4 de pulgada en su lámina.
- Cuchillas de 58cm de larga.
- Arrancador eléctrico tipo estrella-triángulo.

Extrusora 110 milímetros:

- Numero de tornillos: De un Husillo.
- Material tratado: Para HDPE.
- Caudal: Min: 60Kg/h (132.28 lb/h) Max: 1500kg/h (3306.94 lb/h).
- Diámetros del tornillo: Min: 45mm - Max: 150 mm.

En la siguiente tabla se resume la información técnica presentada de los equipos necesarios así como una ilustración de cada uno.

Tabla 3: Maquinaria y equipos

Maquina	Cantidad	Descripción
Molino: 	1	Molino triturador de 20 HP Voltaje 220V, Trifásico.
Aglutinadora 	1	Aglutinadora con Motor de 50 HP Con capacidad de aglutinado aproximada de 20 K en 15 min
Extrusora 	1	Extrusora de un Husillo con Diámetro del tornillo de: Min: 45mm Max: 150mm. Con capacidad de 130 K/h
Tanque de Enfriamiento 	1	Tanque de enfriamiento a base de estructura metálica. Con superficie en Acero inoxidable. Tiempo de enfriamiento aproximado 20 min

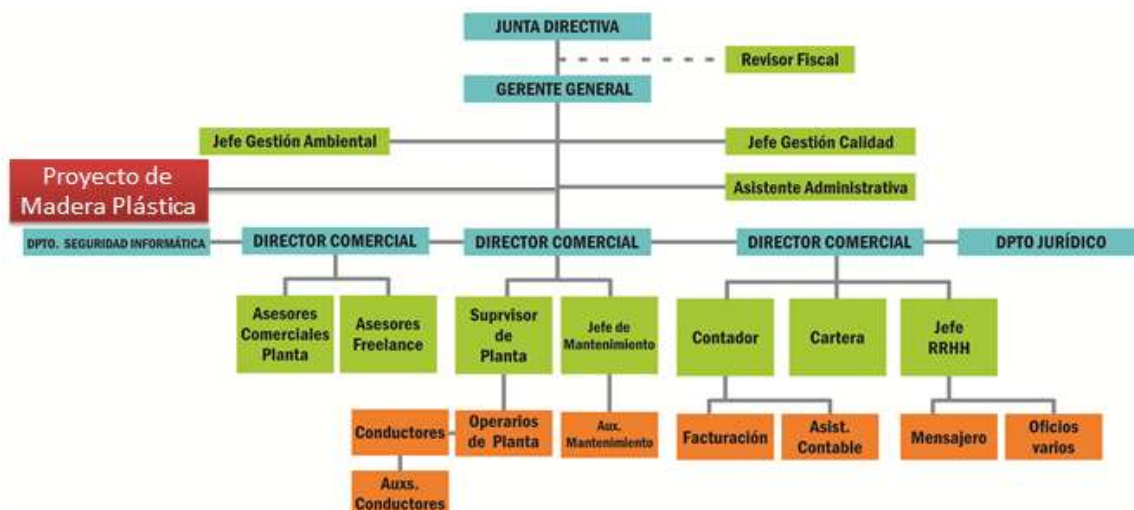
Fuente: Elaboración propia.

4.2.8 Personal.

Para la ejecución del proyecto además de la maquinaria y equipos mencionados anteriormente, será necesario contar con personal para la operación y supervisión de los mismos. El recurso humano deberá ser capacitado y tener experiencia en el campo para desarrollar las distintas actividades propias del proceso.

El desarrollo de este proyecto está siendo realizado a través de la empresa DH Ecoambiental, en la línea de investigación y desarrollo. Dicho proyecto contará con un grupo de 7 personas para su elaboración. A continuación, se muestra el organigrama de la empresa y del proyecto de madera plástica en detalle (Ver ilustraciones 18 y 19):

Ilustración 18: Organigrama Dh Ecoambiental S.A.S.



Fuente: Dh Ecoambiental, 2016.

Ilustración 19: Organigrama división, madera plástica.



Fuente: Dh Ecoambiental, 2016.

A continuación, se describen las funciones de los cargos de los empleados que trabajarían en la planta productora de madera plástica:

Jefe de Planta: Será el encargado de garantizar el cumplimiento de las metas de producción propuestas por la gerencia general, realizando una adecuada planificación y coordinación de la misma, deberá, además, encargarse de la gestión del recurso humano. Como funciones específicas se encuentran las siguientes:

- Realizar pruebas técnicas al producto (Tensión, compresión, elasticidad, humedad, entre otras) para perfeccionar sus características técnicas a futuro.
- Determinar la mezcla optima de cada una de las materias primas para encontrar una mejor consistencia de la madera.
- Determinar la cantidad de Materia prima necesaria para abastecer una jornada de trabajo.

Operario1: Encargado de la separación de la Materia Prima (Residuos plásticos y Residuos hospitalarios desactivados) y de realizar el proceso de molienda en el Molino.

Operario2: Encargado de recibir el producto en proceso proveniente del Molino e introducirlo, junto con la Materia Prima triturada, en la maquina Aglutinadora.

Operario3: Encargado de suministrar material aglutinado en la tolva de la maquina extrusora garantizando un suministro constante del material para tener una operación continua.

Operario4: Encargado de la inspección visual de los postes provenientes de la extrusora, deposito en el tanque de enfriamiento de los mismos y almacenamiento del producto terminado.

Los empleados del proceso deberán trabajar de lunes a sábado en un turno de 8 horas, en donde el jefe de planta definirá los horarios de inicio y fin de labores, teniendo claro que es necesario que los 4 operarios deben de trabajar simultáneamente ya que esta operación está conformada como un proceso en línea. La ausencia de alguno de los operarios en el proceso, disminuirá la productividad de la línea de producción. Es importante aclarar que la distribución de los operarios a lo largo del proceso es decisión del jefe de planta, quien además la empresa DH Ecoambiental diseño como director del proyecto.

4.3 INDICADORES AMBIENTALES Y TÉCNICOS DEL PROYECTO

4.3.1 Indicadores técnicos.

Se ha definido para el cálculo de los siguientes indicadores que el producto final sean postes de 10 kilogramos cada uno, debido a su simplicidad en su diseño y a que aún no se han realizados pruebas técnicas especializadas al producto que permitan su oferta en el mercado en actividades que requieran de características especiales. Estos postes serían usados inicialmente en el encerramientos de predios o similares, actividades en las cuales el producto no debe soportar peso o estar sometido a condiciones que pongan a prueba su resistencia.

4.3.1.1 Tiempo de ciclo.

A continuación, se procede a calcular el tiempo de ciclo de la planta productora de madera plástica a partir de residuos hospitalarios desactivados. Para esto, es importante conocer la cantidad de kilogramos que se pueden procesar en cada una de las actividades del proceso, y a partir de esta información identificar cual es la operación que implica más tiempo, la cual determinara la velocidad de la línea de producción.

A continuación, se muestra la tabla 5, la cual contiene la información para el cálculo del tiempo de ciclo:

Tabla 4: Tiempos requeridos para el procesamiento de de materias primas.

Procesos de Fabricación de Madera Plastica	Cantidad de Equipos (unidad)	Cantidad de kilogramos en 60 min (kg)	Tiempo de Cada proceso para 360 kg (min)
Molienda	1	250	43,2
Aglutinado	2	400	54
Inspección del Aglutinado	-	600	36
Extrusión	2	360	60
Tanque de Enfriamiento	1	400	54
Transporte final e inspección	-	400	54

Fuente: Elaboración propia.

Tomando como referencia la cantidad de kilogramos tratados en cada operación en 1 Hora, se concluye que la operación que requiere mayor tiempo es la extrusión, en la cual se procesan 360 kilogramos en 60 minutos. Esta operación define el tiempo promedio entre la producción de dos lotes (360 kg) consecutivos:

$$LT = 60 \text{ min}$$

4.3.1.2 Capacidad.

Los residuos hospitalarios desactivados de la empresa DH Ecoambiental S.A.S corresponden al 50% de materia prima del proceso de Madera plástica, y el 50% restante concierne a residuos plásticos reciclados.

El Cálculo de la Capacidad de la planta de fabricación de Madera Plástica se hace suponiendo tres turnos de trabajo cada uno de ocho horas y con un total de siete operarios por turno. Además, la planta de producción de Madera Plástica contará con un equipo de molienda, dos Maquinas aglutinadoras, dos Maquinas extrusoras y un tanque de enfriamiento para el desarrollo de todas las actividades productivas.

Para el cálculo de la Capacidad de la planta será necesario tener como punto de partida el tiempo de ciclo, indicador ya calculado anteriormente. De acuerdo a esto, se realiza el cálculo de la capacidad del proceso de producción de madera plástica. Inicialmente se calcula N , que hace referencia a la capacidad de producción (en lotes) de la planta en un día de trabajo.

$$N = \frac{1440 \text{ min}}{LT} = 24 \text{ Lotes}$$

Posteriormente para calcular la capacidad Teórica de producción en kilogramos en un mes CT se realiza la siguiente operación:

$$\begin{aligned} CT &= N * 30 * T \\ T &= \text{Tamaño del lote} = 360 \text{ kg} \\ CT &= 259.200 \text{ kg} \end{aligned}$$

A continuación se calcula la cantidad de materia prima requerida para cubrir el total de la capacidad. Conociendo que la capacidad total en kilogramos es igual a $M = 259.200 \text{ Kg}$, la cantidad de Materia prima requerida será igual a:

$$\text{Residuos hospitalarios desactivados} = 129.600 \text{ kg} \text{ (50\%)}$$

$$\text{Residuos plasticos reciclados} = 129.600 \text{ kg} \text{ (50\%)}$$

El cálculo de la capacidad de la Planta se realiza con base en la generación de residuos hospitalarios desactivados del proceso de DH Ecoambiental S.A.S ESP. Teniendo en cuenta esta información, la organización ha suministrado como último dato la cantidad de residuos procesados durante el mes de febrero del año 2016, el cual corresponde a 110.000 Kilogramos. Sobre la proyección de transformar todo el residuo generado en el proceso de desactivación en Madera Plástica, será necesaria la misma cantidad de residuos plásticos para cubrir el total de la materia prima:

$$R = 110.000 \text{ kg} * 2 = 220.000$$

Por consiguiente, la Capacidad Ideal de la planta se define de la siguiente manera:

$$CI = CT \quad \text{Sí, } CT \geq R$$

$$CI = 259.200 \text{ kg}$$

De lo contrario

$$CI = R \quad \text{Sí, } CT < R$$

$$\mathbf{CI = 220.000 \text{ kg}}$$

Dónde:

CI = Capacidad Ideal

CT = Capacidad Teórica

R = Total de Materia Prima Requerida

En la planta de producción, la madera plástica se fabrica en forma de postes cuyo peso aproximado es de 10 kilogramos. De acuerdo a los cálculos realizados para hallar el tiempo de ciclo, el tamaño de cada lote es de 360 kilogramos, de esta manera cada lote contiene un total de diez postes de Madera. Finalmente se tiene que la capacidad de la planta está determinada por la división de los kilogramos producidos en un mes dividido por el peso promedio de cada poste de madera:

$$CI = \frac{220.000}{10} = 22.000 \text{ Postes de Madera Plastica}$$

Con base en lo descrito en los indicadores técnicos, quedo evidenciado muestran que el total de los residuos hospitalarios desactivados por la empresa Dh Ecoambiental serán reutilizados como materia prima en el proceso de generación de madera plástica y bajo el supuesto que la empresa Dh Ecoambiental hará los

ajustes y ampliaciones necesarias a través del tiempo para que la planta productora de madera plástica siempre tenga una capacidad mayor o igual a la producción de residuos hospitalarios desactivados que sean generados, se estudian a continuación los indicadores ambientales del proyecto.

4.3.2 Indicadores ambientales.

Como se mencionó desde un inicio esta investigación tiene unos principios sólidos que la impulsan y miden su éxito. Uno de estos es el beneficio que el proyecto pueda generar al medio ambiente. Desde esta óptica y para medir estos posibles beneficios se describe a continuación el impacto actual generado por la gestión final de los residuos sólidos desactivados.

De acuerdo a lo mencionado en párrafos anteriores, la totalidad de los residuos procesados por la empresa Dh Ecoambiental son transportados y depositados en un relleno sanitario autorizado por CVC. En el caso puntual de la empresa Dh Ecoambiental, sus residuos desactivados son depositados en el relleno sanitario Colomba el Guabal. Por ende, el impacto directo de estos residuos es recibido por el relleno, lo cual hace importante medir este impacto y los beneficios ambientales que la ejecución del proyecto pueda traer al mismo (CVC, 2014).

4.3.2.1 Impacto, actual y futuro, de los residuos hospitalarios desactivados por Dh Ecoambiental en el relleno sanitario.

El relleno sanitario Colomba el Guabal se encuentra ubicado en el municipio de Yotoco en el departamento del Valle del Cauca. Este cuenta con licencia ambiental otorgada por la CVC. Su inicio de operaciones se dio en el mes de julio del año 2008. Actualmente genera 700 empleos directos y alrededor de 600 empleos indirectos. A este relleno llegan basuras provenientes de los municipios de Cali, Calima, Florida, Candelaria, Yumbo, Restrepo, Jamundí, La Cumbre, Dagua y Yotoco Valle, así como de Villarrica, Caloto, Guachené y Padilla Cauca. Cali aporta el 77 % del total de las basuras que se disponen en él. La población atendida por el relleno sanitario de Yotoco es de 3.000.000 de personas (SUPERSERVICIOS, 2015).

En su ficha técnica el relleno tiene una capacidad de diecinueve millones quinientas mil (19.500.000) toneladas con una vida útil estimada 31.2 años. El relleno sanitario de Colomba el Guabal es el segundo más grande del país después relleno de Doña Juana ubicado en Bogotá. Sin embargo, según la superintendencia de servicios el relleno sanitario de Yotoco dispone actualmente de un área de disposición con una vida útil proyectada a 2032, lo cual es mucho menor a los 31.2 años de vida útil proyectados en la apertura del relleno y que aparecen en la ficha técnica del mismo (SUPERSERVICIOS, 2015).

Los rellenos sanitarios son de suma importancia para las sociedades ya que de existencia depende de manera directa la calidad de vida en las ciudades. La disposición final de los residuos en los rellenos es una actividad en la cual se busca hallar los menores impactos negativos al medio ambiente y en donde se garanticen la no existencia de amenazas a la salud pública. Por lo tanto, la disposición final se realiza de tal manera que él sea aprovechado al máximo. Una de las maneras para lograr esto es llevando solo al relleno sanitario lo que definitivamente es un residuo in ninguna posibilidad de reúso.

La vida útil de un relleno sanitario es el tiempo estimado en el cual podrá recibir residuos. Cualquier tipo de acción que permita que la vida útil de los rellenos sanitarios se alargue es muy valiosa en términos medio ambientales.

A continuación, se presentan las cifras de residuos desactivados mes tras mes en un periodo de 13 meses comprendidos desde el mes de febrero de 2015 al mes de febrero de 2016 (ver tabla 4) (Dh Ecoambiental, 2016).

Tabla 5: Cantidad de residíos desactivados por mes para el periodo (septiembre 2015 – febrero 2016).

Mes (2015-2016)	Cantidad (toneladas)
Febrero	59
Marzo	62
Abril	63
Mayo	67
Junio	66
Julio	68
Agosto	77
Septiembre	76
Octubre	82
Noviembre	81
Diciembre	85
Enero	102
Febrero	110

Fuente: Dh Ecoambiental S.A.S.

De la tabla anterior se analizan varios factores, uno de ellos es que a pesar de que se observa una tendencia creciente, para el mes de octubre se tiene que fueron desactivados 82 toneladas de residuos hospitalarios, una tonelada más que el mes siguiente, Según la gerencia de Dh Ecoambiental esto es debido a que en algunos meses el número de contratos no se altera, pero la cantidad de residuos generados por los entes de salud si puede variar de manera creciente o decreciente como fue en el caso mencionado. Otro aspecto destacable es que la variación más alta en cantidad de toneladas procesadas es del mes de diciembre

al mes de enero con 17 toneladas de crecimiento. La empresa Dh Ecoambiental explica que gran parte de las entidades de salud cuentan con contratos realizados a periodos de un año con fecha de finalización del 31 de diciembre y fecha de inicio del 01 de enero. Esto hace que las posibilidades de obtención o pérdida de contratos más altas se den en este periodo. Por último y más importante para los fines esta investigación es analizar la tasa de crecimiento de la empresa Dh Ecoambiental en términos de toneladas de residuos procesados ya que esto permitirá valorar el impacto futuro de los residuos hospitalarios desactivados.

Bajo el supuesto de que la empresa Dh Ecoambiental seguirá operando durante el tiempo en que el relleno sanitario Colomba el Guabal se calculó mediante el método de regresión lineal y en base a los datos presentados en la tabla 5 la cantidad de residuos que serán desactivados por la empresa Dh Ecoambiental durante este periodo. Se estima entonces que la cantidad de residuos que serán desactivados desde mayo del 2015 a diciembre del 2032 serán 96.977 toneladas. De no ejecutarse ninguna alternativa para estos residuos, en su totalidad estos serían llevados al relleno sanitario (CVC, 2014).

4.3.2.2 Cantidad de residuos hospitalarios reutilizados.

La cantidad de residuos que se pueden reciclar en un año depende principalmente de dos factores. 1. La cantidad de residuos procesados por la empresa Dh Ecoambiental. 2. La capacidad de la planta de producción de madera plástica.

Ambos datos ya han sido mencionados en esta investigación, por lo tanto, de manera teórica se tiene que la cantidad de residuos que se podrían reciclar por año es equivalente al valor absoluto de la cantidad de residuos desactivados menos la capacidad de la planta productora de madera plástica.

$$R_{rc} = C_{mp} \quad \text{Sí, } R_p \geq C_{mp}$$

De lo contrario

$$R_{rc} = R_p \quad \text{Sí, } R_p < C_{mp}$$

Donde:

- R_{rc} = Residuos reciclados por la planta de madera plástica.
- R_p = residuos desactivados por la empresa Dh Ecoambiental.
- C_{mp} = Capacidad de la planta de madera plástica.

Bajo el supuesto de que la empresa Dh Ecoambiental hará los ajustes y ampliaciones que sean necesarios a través del tiempo en la planta de madera

plástica para que esta siempre pueda usar el 100% de los residuos hospitalarios desactivados para la generación de madera plástica se tiene que:

$$R_{rc} = R_p$$

Por lo tanto, la cantidad de residuos reutilizados como materia prima para la generación de madera plástica para el periodo mayo de 2015 a diciembre de 2032 (año hasta el que está proyectada la vida útil del relleno sanitario) será de 96.977 toneladas. Esta cantidad de residuos dejaría de ser depositada en el relleno sanitario generando así un impacto positivo directo sobre su vida útil.

4.3.2.3 Aumento de la vida útil.

La vida útil de un relleno sanitario puede aumentar en la medida de que sean depositados en él menos residuos de los proyectados por el operador del relleno. Con esto la capacidad total se coparía en más tiempo del estimado y por ende retrasaría la necesidad de apertura de otro relleno sanitario.

El proyecto de producción de madera plástica a partir de residuos hospitalarios desactivados va precisamente en esta línea. En primer lugar, se analizó capacidad diaria promedio (C_{dp}) del relleno sanitario. Esta corresponde al valor de toneladas que se estima serán depositadas en el relleno sanitario conforme a la vida útil proyectada (V_{ud}). La C_{dp} estaría dada entonces por la siguiente formula:

$$C_{dp} = \frac{C_r}{V_{ur}}$$

Donde:

- C_{dp} = Capacidad diaria promedio del relleno sanitario.
 - C_r = Capacidad restante del relleno sanitario.
 - V_{ur} = Vida útil restante del relleno sanitario.

Según cifras publicadas por el diario el país, al finalizar el mes de abril de 2015 habían sido depositados en el relleno 4.666.978 toneladas de residuos, siendo entonces la capacidad restante del relleno 14.883.022 toneladas. Con base en estos valores se calcula entonces la capacidad promedio diaria del relleno de acuerdo a la esperanza de vida proyectada que según la superintendencia de servicios públicos es hasta el 2032. Se tiene también que la vida útil restante del relleno al 30 de abril del 2015 es de 16 años y 8 meses.

$$C_{dp} = \frac{(19500000 - 4666978) \text{ toneladas}}{\left(\frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \text{ días} * 16.67 \text{ años}\right)} = 2437 \text{ Toneladas/día}$$

Teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas se puede estimar entonces que la vida útil que podría ganar el relleno sanitario con la ejecución del proyecto en estudio estaría dada por la siguiente formula:

$$V_{ug} = \frac{Rrc}{C_{dp}}$$

Donde:

- Rrc = Residuos reutilizados por la planta de madera plástica.
- C_{dp} = Capacidad diaria promedio del relleno sanitario.
- V_{ug} = Días ganados de vida útil del relleno sanitario.

Con el fin de calcular la vida útil ganada con la ejecución del proyecto, teniendo como base el periodo de la vida útil restante, se usa el valor ya mencionado de residuos desactivados usados como materia prima del proceso de producción de madera plástica proyectado durante el periodo de vida útil restante y el valor calculado de capacidad promedio diaria.

$$V_{ug} = \frac{96977 \text{ toneladas}}{2437 \text{ toneladas/días}} = 39 \text{ días}$$

Se tiene entonces que, con la ejecución del proyecto, el relleno sanitario ganaría 39 días en su vida útil. Esto es un poco más de un mes, cifra muy alentadora sobre todo si se tiene en cuenta que es por el impacto generado por una sola empresa que se desempeña con un solo tipo de residuos.

5. CONCLUSIONES

- Esta investigación permite entender que antes de la postulación de cualquier solución a los problemas que enfrentan las organizaciones, deben analizarse los diferentes tópicos en los que se estructura el problema, esto con el fin de dar soluciones del mayor alcance posible e integras no solo para la organización en si misma sino también para todos los interesados.
- Los residuos desactivados a los que se plantea una solución en esta investigación fueron inicialmente residuos peligrosos que son generados por las entidades de salud. Si se concientiza del impacto medioambiental de estos residuos a los generadores se podría lograr un trabajo mancomunado con las entidades de salud para lograr mejorar las soluciones planteadas a estos residuos. Para el caso puntual producto propuesto a generar con estos residuos en este trabajo (madera plástica) ayudaría mucho en el mejoramiento de sus características técnicas, que hubiera una segregación de los mismos en base al tipo de materiales y no solo al tipo de residuo como se hace actualmente. Esto ayudaría a la producción de materiales de madera plástica con mejores características físicas mejoradas.
- Los resultados de esta investigación sirven de soporte para que futuras investigaciones que giren en torno a los residuos no tenga como limitante el tipo de residuos o su peligrosidad. Este proyecto evidencia que el uso de tecnologías innovadoras permiten plantear soluciones integrales para retos que de mayor alcance. Cuando el mundo está tratando de concientizarse del reciclaje de residuos ordinarios, la industria debe dar soluciones reales a los residuos que ella genera, como fue el caso de los residuos peligrosos tratados en este proyecto.
- La disminución en el daño al medio ambiente puede ser mucho mayor, esto si se tiene en cuenta que el proyecto se basa en los residuos de la empresa Dh Ecoambiental que tan solo es una del gran número de empresas de gestión de residuos hospitalarios que hay en el país. Se constituye este proyecto como un reto para las empresas del sector, que siendo consecuentes con los problemas ambientales del presente deberían ahondar en “tecnologías verdes” que permitan el desarrollo de soluciones integrales para este tipo de residuo y no solo soluciones de corto plazo o

alcance limitado. Uno de los objetivos de toda empresa que gestione residuos debe ser cerrar el ciclo de los mismos o al menos alargarlo.

- El impacto positivo medido por los indicadores mostrados al final de este documento con relación al relleno sanitario de la región, segundo más grande del país, revela que un esfuerzo de una sola empresa mediana puede generar una mejoría significativa a los indicadores ambientales de la región. Siguiendo esta lógica estos resultados plantean un reto para los ingenieros que enfrentan problemas relacionados con el medio ambiente en las diferentes organizaciones ya que de lograrse la ejecución de proyectos que no solo generen impactos positivos al interior en las empresa sino también al medio ambiente puede gestarse una disminución sustancial en el daño al medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Alberto, G. S. C., Rita, C. A., Marta, G. E., & Paula, F. G. (2004). Guías Ambientales - Sector Plásticos, 15, 16, 78, 79, 98, 99. Retrieved from [http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Gu?as Resoluci?n 1023 del 28 de julio de 2005/INDUSTRIAL Y MANUFACTURERO/Guias ambientales sector pl?sticos.pdf](http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Gu%as%20Resoluci%20n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/INDUSTRIAL%20Y%20MANUFACTURERO/Guias%20ambientales%20sector%20pl%20sticos.pdf)
- Bogotá, O. A. (2015). Residuos Hospitalarios en Bogotá. Bogotá. Retrieved from <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=178&v=l>.
- CVC. (2014). Licencia Ambiental Dh Ecoambiental SAS. Cali.
- ELESPECTADOR. (2008). Secretaría de Salud prohibiría el reciclaje de desechos hospitalarios. bogota D.C. Retrieved from <http://www.elespectador.com/noticias/salud/articulo-secretaria-de-salud-prohibiria-el-reciclaje-de-desechos-hospitalarios>
- ELESPECTADOR. (2012). Cae banda que revendía desechos hospitalarios en Medellín. Retrieved from <http://www.elespectador.com/noticias/nacional/medellin-cae-banda-revendia-desechos-hospitalarios-articulo-337797>
- ELESPECTADOR. (2015a). Desechos hospitalarios serán controlados en tiempo real. bogota D.C. Retrieved from <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/desechos-hospitalarios-seran-controlados-tiempo-real-articulo-562988>
- ELESPECTADOR. (2015b). Multas de hasta \$3.200 millones por incumplir con manejo de residuos hospitalarios. bogota D.C. Retrieved from <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/multas-de-hasta-3200-millones-incumplir-manejo-de-resid-articulo-572781>
- ELPAÍS. (2011). Preocupa manejo de residuos hospitalarios en el sur de Cali. Retrieved from <http://www.elpais.com.co/elpais/cali/preocupa-manejo-residuos-hospitalarios-en-sur-cali>
- ELTIEMPO. (2014). A Fiscalía, hallazgo de botadero clandestino de residuos hospitalarios. bogota D.C. Retrieved from <http://www.eltiempo.com/bogota/botadero-de-residuos-hospitalarios-en-patio-bonito/14981017>
- EPA. (2016a). Gestión sostenible de los materiales de construcción y demolición. Retrieved from <https://www.epa.gov/smm/sustainable-management-construction-and-demolition-materials>
- EPA. (2016b). Residuos sólidos urbanos. Retrieved from <https://archive.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/web/html/index.html>
- Ideam. (2012). *Informe nacional Generación y Manejo de Residuos Peligrosos en Colombia - Año 2011* (Vol. 1). bogota D.C. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Lozano, F., & Rivas, S. (2016). Congreso Materiales. Santiago de Cali.

- MADERPLASTIC. (2016a). Beneficios y ventajas de la madera plástica. Retrieved from <http://www.maderplastic.com/nosotros/beneficios-y-ventajas>
- MADERPLASTIC. (2016b). Productos de madera plastica. Retrieved from <http://www.maderplastic.com/productos/>
- Salud, M. D. E., Del, M., & Ambiente, M. (2009). Manual De Procedimientos Para La Gestión Integral De Residuos Hospitalarios Y Similares En Colombia. *Ministerio de Salud, Ministerio Del Medio Ambiente*, 1–78.
- Santiago, L., Londoño, P., Milena, S., & Villa, G. (2009). ELABORACIÓN DE MADERA PLÁSTICA, 1(4), 1453–1460. Retrieved from http://www.rlmm.org/library/file_top.php?file=283
- Sobiecka, E., Obraniak, A., & Antizar-Ladislao, B. (2014). Influence of mixture ratio and pH to solidification/stabilization process of hospital solid waste incineration ash in Portland cement. *Chemosphere*, 111, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.03.057>
- SUPERSERVICIOS. (2015). Superintendencia de servicios públicos. Retrieved from <http://www.superservicios.gov.co/>
- Toscano-palomar, L. (2013). Madera plástica con paja de trigo y matriz polimérica Plastic timber with wheat straw and polymer matrix.

Madera Plástica Producida a Partir de Residuos Sólidos Hospitalarios

Juan Felipe Lozano, Juan Sebastián Rivas y Pablo Cesar Manyoma, Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería Industrial, Cali, COLOMBIA. e-mail: Juanfelozano@hotmail.es, juansebastianrivas1@hotmail.com y pablocesarmanyoma@correounivalle.edu.co

Resumen: Es de suma importancia en la actualidad minimizar la generación de residuos y con esto disminuir el uso de los recursos naturales. Una de las formas de lograr este objetivo es implementando alternativas de reúso para los residuos generados en las actividades productivas, sea para ser utilizados nuevamente en los mismos procesos o como materias primas de otros sistemas de producción. Esta tarea alcanza un nivel mayor de complejidad cuando los residuos presentan características de peligrosidad para el ser humano y el medio ambiente, tal es el caso de los residuos peligrosos. Dentro de este grupo de residuos se encuentran los residuos hospitalarios y similares los cuales son las sustancias, materiales o subproductos sólidos, líquidos o gaseosos, generados en las actividades ejercidas por entidades prestadoras de servicios de salud (M. Salud et al. 2009). En la ciudad de Cali se encuentra la empresa Dh Ecoambiental la cual tiene como negocio la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares. Este documento tiene como objeto de estudio el proceso experimental que se llevó a cabo en la empresa Dh Ecoambiental para reutilizar los residuos generados por su proceso de desactivación de los residuos sólidos hospitalarios mediante la producción de madera plástica a base de estos residuos. Se detallan los pasos de producción de los primeros bloques así como una caracterización general de los mismos, haciendo énfasis en los aspectos en que debe ahondar en el futuro de la investigación en este campo.

Palabras Clave: residuos sólidos hospitalarios, madera plástica, desactivación.

Contexto

Dentro de la gran cantidad de residuos que son generados por las diferentes actividades humanas existen unos que debido a su composición química, física y/o biológica, provocan efectos adversos de diversa magnitud al hombre y al medio ambiente; tal es el caso de los residuos peligrosos. Un residuo peligroso es aquel residuo que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgos, daños o efectos no deseados, directos o indirectos, a la salud humana y al ambiente. Según la ley 1252 en su artículo 3 también se consideran residuos peligrosos a los empaques, envases y embalajes que estuvieron en contacto con ellos (Ideam 2012).

La mayoría de países del mundo se han acogido el Convenio de Basilea, acuerdo internacional que para el 2011 estaba ratificado por 179 países y que establece las directrices para trabajar frente a los problemas y retos asociados con los residuos peligrosos. Colombia por su parte se suscribió al Convenio de Basilea el 22 de marzo de 1989 y lo ratificó mediante la Ley 253 de 1996 (Ideam 2012).

A nivel mundial cada país ha adoptado sus propias normativas sobre la generación y gestión de los residuos peligrosos con base en lo establecido en el Convenio de Basilea.

En el año 2011 la generación de residuos peligrosos en Colombia fue de 174.418 toneladas, cifra que a su vez es superior a las 141.735 toneladas generadas en 2010. En el análisis de generación de residuos peligrosos por corriente de residuos se observa que las mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua fue el residuo peligroso que más se generó en el país (47% de la generación nacional para el 2011). Seguidamente resalta la corriente de residuos hospitalarios que para 2011 generó el 10% de los residuos peligrosos en el país. De esta manera se tiene que para el año 2011 la cantidad de toneladas de residuos hospitalarios fue de 17.441 toneladas. Estos residuos se componen de: residuos biosanitarios, cortopunzantes, anatomopatológicos, material contaminado con fluidos corporales y líquidos desinfectantes (Ideam 2012).

Es de destacar que la ciudad que más residuos peligrosos generó para el mismo año fue Bogotá D.C con 20625,7 toneladas. Para el año 2015 solo en la ciudad de Bogotá se produjeron 11.844 toneladas de residuos hospitalarios los cuales a su vez fueron compuestos por 10.264 toneladas de residuos biosanitarios y cortopunzantes y 1.580 toneladas de residuos anatomopatológicos (Observatorio Ambiental 2015). En el 2011 la generación de residuos peligrosos para el valle del cauca reportada por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) fue de 5.158 toneladas. Por su parte la ciudad de Cali tuvo una generación de 5.119 toneladas de residuos peligrosos de las

cuales el 50% correspondió a residuos pertenecientes a la corriente de clínicos y similares (Ideam 2012).

En lo que respecta al manejo que se le da a los residuos peligrosos existen tres posibles caminos los cuales son almacenamiento, aprovechamiento y/o valorización y tratamiento. De esta manera se tiene que para el año 2011 se manejaron en el país un total de 157.662,7 toneladas de residuos peligrosos, de las cuales el 21,1% (33.344,7 toneladas) fueron aprovechadas y/o valorizadas, el 43,2% (68.087,0 toneladas) fueron tratadas y el 35,7% (56.231,0) fueron llevadas a disposición final. A 31 de Diciembre de 2011 se encontraban en almacenamiento un total de 42.031,9 toneladas que no habían sido gestionadas. A pesar de que el aprovechamiento de residuos peligrosos debe ser la opción de manejo más utilizada, según la Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos, para el 2011 esta tipo de manejo solo aumento en 651,6 toneladas con respecto al año 2010, a pesar que la generación total de estos residuos creció en más de 32.000 toneladas entre los dos años en cuestión (Ideam 2012).

Si se analiza el tipo de manejo dado a los residuos peligrosos generados en actividades de instituciones prestadoras de servicios de salud se tiene que el aprovechamiento tan solo asciende al 4% lo cual es ostensiblemente inferior al porcentaje general que presentan los residuos peligrosos y que a su vez si es comparado con el aprovechamiento en las 5 actividades productivas de mayor generación en el país también se ubica en la última posición. Ver *Tabla 1*.

Tabla 1 – Porcentaje de residuos peligrosos aprovechados en las actividades productivas de mayor generación, en 2011 (Ideam 2012)

Descripción de actividad productiva	Generación	%RESIDUOS	
		Aprovechamiento	APROVECHADOS
Extracción de petróleo crudo y gas natural	74.184	5.253	7%
Industrias básicas de hierro y de acero	14.510	1.214	8%
Actividades de las instituciones prestadoras de servicios de salud	11.357	413	4%
Fabricación de productos metálicos para uso estructural	5.383	5.246	97%

Lo anterior es preocupante debido a la importancia de minimizar la generación de residuos peligrosos en el país y así disminuir la presión sobre los recursos naturales, el uso de energía y la contaminación ambiental, las alternativas de aprovechamiento de estos residuos, tales como la reutilización, el reciclaje y la recuperación, y las alternativas de tratamiento encaminadas a recuperar materias primas para su utilización ya sea en el mismo proceso en donde se usaron inicialmente o en otro distinto, deberían ser en lo posible incorporadas por los generadores y gestores en sus actividades productivas, lo que también redundaría en un beneficio económico para ellos.

Según el decreto 4741 del 2005 se entiende por tratamiento aquellas operaciones o procesos mediante los cuales se modifican las características de los residuos teniendo en cuenta el riesgo y grado de peligrosidad de los mismos, para minimizar los impactos negativos para la salud humana y el ambiente. Para el 2011 la cantidad de residuos clínicos y similares procesados fue de 11740 toneladas las cuales representan el 67% de los residuos generados en ese año. Los tratamientos más comunes para el procesamiento de residuos hospitalarios en Colombia son los descritos en el Plan de Gestión Integral de Residuos Hospitalarios (PGIRH) emitido por el Ministerio del medio ambiente. Uno de ellos es la desactivación mediante autoclave de calor húmedo en la cual el vapor saturado actúa como transportador de energía y su poder calórico penetra en los residuos causando la destrucción de los microorganismos patógenos contenidos en los residuos biosanitarios y cortopunzantes. Sin embargo, los residuos con grasa y materia orgánica voluminosa actúan como barreras obstaculizando el proceso de desinfección, razón por la cual este método no es eficiente para la desinfección de residuos anatomopatológicos y de animales. La desactivación debe hacerse a presión de vapor, temperatura y tiempo de residencia que aseguren la eliminación de todos los microorganismos patógenos. El nivel pleno de funcionamiento se alcanza cuando la temperatura es homogénea en todos los sitios de la carga. Siempre que este método sea utilizado con residuos cortopunzantes, estos deben ser triturados antes de ser enviados al relleno sanitario. Este importante resaltar que el ministerio del medio ambiente de Colombia permite que este tipo de residuo producto de este tratamiento pueda ser reciclado en plantas de fundición de metales (M.Salud et al. 2009).

Otro proceso para el tratamiento de los residuos clínicos y similares es la desactivación por calor seco, proceso en el cual se utilizan altas temperaturas y tiempos de residencia que aseguran la eliminación de microorganismos patógenos. En el llamado Autoclave de calor seco se utiliza aire seco a 180°C, sometiendo los residuos a tiempos de hasta dos horas. Con este tipo de tecnología no se pueden desinfectar los residuos de papeles, textiles o que posean sustancias alcalinas, o grasas entre otras, es decir aquellos que se quemen, volatilicen o licúen a dichas temperaturas. Siempre que este método sea utilizado con residuos cortopunzantes, deben ser triturados antes de ser enviados al relleno sanitario. Este proceso no es recomendable para residuos anatomopatológicos y de animales (M.Salud et al. 2009).

Se encuentra también la desactivación por radiación en la cual se exponen los residuos a la acción de una fracción del espectro electromagnético, como el ultravioleta para superficies o materiales poco densos y delgados, o mediante el uso de otro tipo de radiación como los rayos gamma, más penetrantes. Siempre que este método sea utilizado con residuos cortopunzantes, deben ser triturados antes de ser enviados al relleno sanitario. Este proceso no es recomendable para residuos anatomopatológicos y de animales.

Como tratamiento más común en el país está la incineración la cual es rápida descomposición térmica de un material por medio de su oxidación (combustión) y del agregado de aire u oxígeno. Los incineradores generan productos resultantes de una combustión incompleta, tales como monóxido de carbono o ceniza. Además, los residuos no están formados de celulosa solamente, normalmente contienen metales pesados. También contienen compuestos de gran contenido de cloro o flúor. Como resultado las reacciones que ocurren dentro de un incinerador producen subproductos tóxicos como las dioxinas las cuales se emiten al aire desde la chimenea del incinerador (M.Salud et al. 2009).

Como método innovador para el procesamiento de los residuos clínicos y similares está el proceso de desactivación de alta eficiencia físico – químico – seco el cual mediante el uso del único químico seco aprobado por la EPA para el tratamiento de los residuos hospitalarios llamado ColdSter procesa los residuos clínicos llevándolos a un estado irreconocible de total desinfección y con una reducción del volumen del 70%. La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca ha autorizado que los residuos producto del proceso de esta tecnología se les dé una disposición final conjunta con los residuos no peligrosos generados por las entidades hospitalarias, es decir, un manejo propio de residuos ordinarios. Es importante resaltar que este proceso no produce emisiones a la atmósfera o aguas residuales u otros peligrosos subproductos como si lo hacen actividades como la incineración. El producto de este proceso no presenta olores debido a una característica inhibidora presente en el químico que se emplea para la desactivación de los residuos. También es de considerarse que al no haber combustión en el proceso los polietilenos presentes conservan un alto potencial de reciclaje (CVC 2014).

Teniendo en cuenta que las cifras del aprovechamiento de los residuos clínicos y similares son muy bajas y que la necesidad de hacerlo es imperante y puede traer beneficios económicos para las organizaciones que ejecuten planes con este fin se planteó la pregunta de qué alternativas de reúso existen para los residuos producidos por el ultimo tipo de tratamiento de residuos mencionado.

Metodología

Inmerso en este contexto se encuentra la organización Dh Ecoambiental la cual es una empresa dedicada a la recolección, transporte, procesamiento y disposición final de los

residuos generados principalmente por las actividades productivas de carácter hospitalario y químico. Esta empresa emplea el proceso de desactivación de alta eficiencia físico – químico – seco mencionado. A diferencia de otros procesos empleados por otras empresas dedicadas al mismo negocio el residuo producto del proceso de desactivación DH Eco ambiental es calificado por la CVC como residuo ordinario y por lo cual debe ser gestionado de la misma manera en que son gestionados los residuos domiciliarios.

La empresa en cuestión subcontrata la actividad de transporte y disposición final, del residuo desactivado que sale del proceso físico - químico - seco, y lo hace con la empresa SyS de Colombia, la cual tiene una tarifa de \$420.000 por viaje (12 m3 de residuo) al relleno de Colomba Guabal ubicado en el municipio de Yotoco, en el departamento de Valle del Cauca.

DH Eco ambiental ha incrementado el número de contratos con entidades de salud, lo que ha disparado la producción y por ende cantidad residuo desactivado al final del proceso. A Continuación se presenta un gráfico mediante el cual se relaciona la facturación de la empresa SyS de Colombia a DH Eco ambiental de los últimos meses con relación al servicio:



Figura 1 – Costos periodo (julio 2015 - enero 2016) debido a disposición final de residuos clínicos desactivados.

El incremento en el costo del servicio de recolección, transporte y disposición final de los residuos desactivados en los últimos meses del año 2015 e inicio 2016 ha generado preocupación en la gerencia de la empresa DH Eco ambiental. Esto conllevó a comenzar

a generar ideas que disminuyeran el ostensible crecimiento de la facturación con la empresa SyS de Colombia.

Durante el año 2015, la empresa Dh Ecoambiental hizo parte del congreso Expo-residuos 2015, evento que se llevó a cabo en la ciudad de Medellín y que contó con la participación de empresas dedicadas a la recolección, transporte, disposición final y aprovechamiento de toda clase de Residuos en todo país. En esta última versión del evento se compartieron experiencias con empresas dedicadas al aprovechamiento de los residuos sólidos. Una de estas empresas se dedicaba desde hace algunos meses a la fabricación y comercialización de madera plástica construida a base de todo tipo de desperdicio plástico, su nombre es Econciencia y es dirigida por el señor Jhon Berrio López en la ciudad de Medellín, quien manifiesta que se han recuperado en los últimos años cerca de 1500 toneladas de residuos plásticos. El elemento diferenciador consiste en sustituir los materiales tradicionales y con elevadas huellas de carbón, por materiales que han sido reciclados e incorporados al ciclo productivo.

De igual manera se evidencia en la revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales la elaboración de madera plástica a base de materiales plásticos reciclados provenientes de la industria bananera, como una contribución hacia el medio ambiente, para reducir costos de disposición final de desperdicio y como fuente de ingreso adicional para cualquier empresa que desempeñe esta actividad (Santiago et al. 2009).

Luego de conocer los resultados obtenidos por la empresa Econciencia, y de conocer el proceso de producción de madera plástica, se inició con la formulación de cuestionamientos, los cuales giraban en torno a la hipotética fabricación de madera plástica a base de residuos clínicos desactivados. Esto como solución a la problemática de altos costos de disposición final presentados durante los últimos meses, fue así como se decidió proponer a la gerencia el inicio de pruebas con el residuo desactivado para la generación de madera plástica, propuesta que fue aprobada dando vía libre a las primeras pruebas con el material.

Resultados

Las primeras pruebas se realizaron con residuos generados a partir del procesamiento de residuos biosanitarios, cortopunzantes y anatomopatológicos. Este residuo, previa comprobación de su estado de desactivación y tras 2 horas de reposo a temperatura ambiente, fue trasladado a las instalaciones de la planta XY (la identificaremos de esta manera debido a que no se cuenta con autorización para publicar su nombre) la cual contaba con la maquinaria y experiencia básica para la generación de madera a partir de materiales plásticos. La cantidad llevada fueron 50 kilos.

La totalidad del residuo llevado fue depositado en una aglutinadora junto con 12 kilos de polietilenos, materiales que se esperaba dieran al producto final características de

flexibilidad, con el fin de homogenizar el tamaño del plástico. Seguidamente fue ingresado en una extrusora donde se calentó el material hasta que este alcanzará una temperatura de aproximadamente 100°C. Esto se debe a que el residuo desactivado está integrado por diferentes tipos de plástico y por ende diferentes puntos de suavización y se debía asegurar que todos los materiales alcanzaran ese punto.

Seguidamente el material fue ingresado en los moldes seleccionados que para la primera prueba fueron con forma de tabla de 23 centímetros de longitud, 8 centímetros de ancho y 3 centímetros de espesor. Estos moldes fueron ingresados en un tanque con agua a una temperatura de 15°C con el fin de iniciar un proceso de enfriamiento. Tras 15 minutos dentro del tanque los moldes fueron sacados y se procedió retirar el producto final del mismo, esto se hace ubicando los moldes en una prensa hidráulica la cual expulsa el producto. En la figura 2 se aprecia el resultado de la prueba descrita.



Figura 2 – Prototipo #1 de madera a base de materiales plásticos.

Se identificó que el producto final de la prueba numero #1 tenía una superficie corroñosa y estéticamente indeseada por sus imperfecciones y centro esponjoso.

La segunda prueba fue realizada un 60% (50 kilos) de residuo del proceso de Dh Ecoambiental, 20% (11,5 kilos) de polietilenos y el 20% (11,5 kilos) de polipropilenos esto con el fin de conservar la flexibilidad aumentando la dureza en el material. Los encargados de las operaciones en la planta XY donde se hicieron las pruebas recomendaron esta mezcla para mejorar la estética del material así como aumentar la temperatura en la extrusora a 120°C. Ver fig. 3.



Figura 3 – Prototipo #2 de madera a base de materiales plásticos.

A pesar de que 2 pruebas son muy escasas para emitir juicios se observó de manera general que los prototipos de madera plástica obtenidos tienen algunas desventajas las cuales son:

- Mal olor.
- Irregularidad en la consistencia del material siendo más blando en el interior. Esto se evidencia aun ocularmente teniendo un color más claro en el centro.

Por otra parte dentro de los beneficios se identificaron en su mayoría los que regularmente tiene la madera plástica generada a partir de otros insumos:

- Es un producto que no sufrirá proceso de oxidación.
- No habrá proliferación de bacterias como si puede ocurrir en la madera convencional.
- Inmune a plagas o insectos.
- 100% impermeable.

Aspectos como dureza, flexibilidad, propiedades dieléctricas y resistencia térmica quedan por definirse y se establecen como incógnitas que el futuro de la investigación debe resolver con el fin de caracterizar el producto final y llegar a las proporciones de insumos óptimas para una eventual madera plástica a base de residuos sólidos clínicos procesados mediante el proceso de desactivación de alta eficiencia físico – químico – seco.

Agradecimientos

- A los directivos de la empresa Dh Ecoambiental por permitirnos estudiar sus procesos y divulgar los resultados obtenidos a la comunidad académica.

Bibliografía

CVC, 2014. Licencia Ambiental Dh Ecoambiental SAS.

Ideam, G. nacional, 2012. *Informe nacional Generación y Manejo de Residuos Peligrosos en Colombia - Año 2011*, bogota D.C.

M.Salud, M.D.E., Del, M. & Ambiente, M., 2009. Manual De Procedimientos Para La Gestión Integral De Residuos Hospitalarios Y Similares En Colombia. *Ministerio de salud, Ministerio del Medio Ambiente*, pp.1–78.

Observatorio Ambiental, B., 2015. Residuos Hospitalarios en Bogotá. Available at: <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=178&v=l>.

Santiago, L. et al., 2009. ELABORACIÓN DE MADERA PLÁSTICA. , 1(4), pp.1453–1460.