

PROPUESTA DE MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS  
GENERADOS A PARTIR DE TUBERIA FLEXIBLE

DIEGO FERNANDO BARRAGÁN NIETO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA  
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL  
BOGOTÁ, D.C  
2017

PROPUESTA DE MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS  
GENERADOS A PARTIR DE TUBERIA FLEXIBLE

DIEGO FERNANDO BARRAGÁN NIETO

Monografía para optar por el título de Especialista en  
Gestión Ambiental

Orientador(a):  
DORA CAÑON RODRIGUEZ  
Ingeniera.

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMERICA  
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA  
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL  
BOGOTÁ, D.C.  
2017

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

Firma Director Especialización

---

Firma Calificador

Bogotá, D.C. enero de 2017

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo Y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada Garcia-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García Peña

Decano Facultad de Educación Permanente

Dr. Luis Fernando Romero Suarez

Director Especialización en Gestión Ambiental

Dr. Francisco Archer Narváez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
OBJETIVOS	18
1. CARACTERIZACIÓN DE LA TUBERÍA FLEXIBLE EN MATERIALES COMPUESTOS	19
1.1 IMPORTANCIA DE LA TUBERIA FLEXIBLE	19
1.2 GENERALIDADES DE LA TUBERIA FLEXIBLE	21
1.3 CLASIFICACIÓN DE LA TUBERIA FLEXIBLE	21
1.3.1 Tubería Flexible No Unida (Unbonded flexible pipe)	22
1.3.2 Tubería Flexible Unida (Bonded Flexible Pipe)	23
2. DINÁMICA DE GENERACIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS DE TUBERÍA FLEXIBLE ENROLLABLE DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE OLEODUCTOS Y GASODUCTOS	31
2.1. GENERACIÓN DE RESIDUOS DE TUBERÍA FLEXIBLE EN MATERIALES COMPUESTOS	31
2.1.1 Fallas en procesos de Almacenamiento, Transporte, Manipulación e Instalación de tubería flexible	34
2.2 GESTIÓN ACTUAL DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA	38
2.2.1 Relleno de Seguridad	45
2.2.2 Proceso de Incineración	45
2.2.3 Análisis del Ciclo de Vida del producto en la gestión actual	47
3. MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE TUBERIA FLEXIBLE EN MATERIALES COMPUESTOS	49
3.1 CONCEPTO DE PLÁSTICO COMO RESIDUO APROVECHABLE	49
3.2 IMPORTANCIA DE UN PLAN DE MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS PLÁSTICOS	51
3.3 MÉTODOS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS	54
3.4 CONCEPTO DE PRODUCCIÓN Y CONSUMO SOSTENIBLE	59
3.5 PROPUESTA DE USO DE RESIDUOS DE TUBERÍA FLEXIBLE EN LA INDUSTRIA PETROLERA	63
3.6 REUTILIZACIÓN DE LA TUBERÍA FLEXIBLE POR COMPONENTES	72
3.6.1 Polietileno	74
3.5.2 Sulfuro De Polifenileno (PPS)	74
3.5.3 Poliéster (PET)	75
3.5.4 Polipropileno (PP)	75
3.5.5 Fibra de Aramida (KEVLAR)	75
3.5.6 Fibra de Vidrio	76

3.5.7 Recuperación energética de residuos plásticos	77
4. CONCLUSIONES	81
5. RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFIA	83

## LISTA DE CUADROS

	pág.
<b>Cuadro 1.</b> Características principales de la tubería flexible unida.	24
<b>Cuadro 2.</b> Compatibilidad fluidos de polímeros que componen tubería flexible unida.	29
<b>Cuadro 3.</b> Modo de falla por mecanismo de tubería flexible en materiales compuestos.	34
<b>Cuadro 4.</b> Esquema básico de recuperación de termoplásticos según tipo.	51
<b>Cuadro 5.</b> Herramientas de incineración para diferentes comp. residuales.	55
<b>Cuadro 6.</b> Sistema de codificación de envases plásticos	58
<b>Cuadro 7.</b> Principales usos y productos en los que se recicla los principales polímeros que constituyen la tubería flexible en materiales compuestos.	73
<b>Cuadro 8.</b> Tecnologías de reciclaje de fibra de vidrio de material termoplástico.	76
<b>Cuadro 9.</b> Adaptabilidad de diferentes plásticos a un sistema de pirolisis.	80



## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Sección transversal típica de una tubería flexible no unida.	22
<b>Figura 2.</b> Estructura básica de la tubería flexible unida.	24
<b>Figura 3.</b> Principales materias primas para la fabricación de plásticos.	27
<b>Figura 4.</b> Esquema básico de materias primas, métodos de fabricación, mercados y productos generados con plástico.	27
<b>Figura 5.</b> Manifestaciones de falla tubería flexible en materiales compuestos.	32
<b>Figura 6.</b> Instalación de tubería flexible con carrete estático.	38
<b>Figura 7.</b> Instalación de tubería flexible con carrete móvil.	38
<b>Figura 8.</b> Esquema general del sistema de gestión de residuos sólidos.	40
<b>Figura 9.</b> Esquema básico del ciclo de vida de un producto plástico.	48
<b>Figura 10.</b> Esquema básico del reciclaje de plásticos.	57
<b>Figura 11.</b> Definición esquema de prevención de generación en la fuente vs esquema de la GIRS.	61
<b>Figura 12.</b> Líneas para la circulación de fluidos en el pozo y superficie.	79

## LISTA DE GRAFICAS

	pág.
<b>Gráfico 1.</b> Costos totales por corrosión para el año 2000 en Estados Unidos.	20
<b>Gráfico 2.</b> Costos totales por corrosión en líneas de transferencia de hidrocarburos para el año 2000 en Estados Unidos.	20

## LISTA DE IMÁGENES

	pág.
<b>Imagen 1.</b> Correcta movilización de carretes de tubería flexible.	36
<b>Imagen 2.</b> Esquema básico de torre de perforación y guayas de soporte.	64
<b>Imagen 3.</b> Puntos de anclaje de guayas para torre de perforación.	65
<b>Imagen 4.</b> Topes de estacionamiento utilizados en zonas de parqueo.	66
<b>Imagen 5.</b> Canal de deslizamiento de tubería utilizada en campo.	67
<b>Imagen 6.</b> Poste de informativo/señalización en campo.	69
<b>Imagen 7.</b> Racks de soporte para sarta de completamiento.	70
<b>Imagen 8.</b> Líneas para la circulación de fluidos en el pozo y superficie.	72

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Materiales típicos para tubería flexible unida.	25
<b>Tabla 2.</b> Rangos de operación típicos para tubería flexible unida.	30
<b>Tabla 3.</b> Estándares de emisión admisible de contaminantes al aire para actividades industriales a cond. de referencia (25 °C y 760 mm Hg) con O <sub>2</sub> de referencia del 11%.	46

## ABREVIATURAS

<b>µm</b>	Micrómetro
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>API</b>	Instituto Americano de Petróleo
<b>CO2</b>	Dióxido de Carbono
<b>DBO</b>	Demanda Biológica de Oxígeno
<b>DQO</b>	Demanda Química de Oxígeno
<b>GIRS</b>	Gestión Integral de Residuos Sólidos
<b>GRS</b>	Gestión de Residuos Sólidos
<b>H2S</b>	Sulfuro de Hidrógeno
<b>HDPE</b>	Polietileno de Alta Densidad
<b>IN</b>	Pulgadas
<b>Km</b>	Kilómetro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>NOx</b>	Óxidos de Nitrógeno
<b>PA-11</b>	Poliamida o Nylon 11
<b>PA-12</b>	Poliamida o Nylon 12
<b>PET</b>	Teleftalato de Polietileno
<b>PP</b>	Polipropileno
<b>PS</b>	Poliestireno
<b>PSI</b>	Libra-Pulgada Cuadrada
<b>PVC</b>	Policloruro de Vinilo
<b>PVDF</b>	Polifluoruro de Vinilideno
<b>SIAME</b>	Sistema de Información Ambiental Minero Energético
<b>SOx</b>	Óxidos de Azufre
<b>USD</b>	Dólares Americanos
<b>UV</b>	Ultravioleta
<b>XLPE</b>	Polietileno Reticulado

## GLOSARIO

**ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA:** herramienta metodológica empleada para identificar, cuantificar y valorar económicamente todos los costos internos y externos asociados a un ciclo productivo.

**APROVECHAMIENTO:** proceso mediante el cual se recupera el valor remanente que posee un residuo mediante técnicas como el reciclado o la regeneración.

**FLANCHE:** reborde circular en el extremo de los tubos de metal que sirve para ajustarlos unos con otros.

**GASODUCTO:** tubería para transportar gas combustible.

**GASOIL:** también conocido como gasóleo o diésel, es un hidrocarburo líquido compuesto principalmente por parafinas y utilizado como combustible en calefacción y en motores diésel.

**LICENCIA AMBIENTAL:** documento otorgado por la autoridad competente a solicitud del proponente de un proyecto que certifica que desde el punto de vista de protección ambiental la actividad se pueda ejecutar bajo el acondicionamiento de cumplir las medidas establecidas.

**LINER:** tubería que no se extiende hasta la cabeza de pozo, sino que se cuelga de otra tubería que le sigue en diámetro y ésta hasta la boca de pozo.

**LIXIVIADO:** agua contaminada que gotea de un material de desecho. El lixiviado de vertederos está casi siempre contaminado por materia orgánica y metales pesados.

**OLEODUCTO:** tubería para la conducción de petróleo desde el lugar de producción al de embarque o desde el lugar de descarga al de refinado.

**PELETIZADO:** proceso que consiste en la elaboración de material reciclado, en forma de gránulos. Se emplean máquinas y equipos complementarios que contribuyen al proceso.

**PELLET:** denominación genérica utilizada para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido.

**PIRÓLISIS:** comprende al craqueo de moléculas por calentamiento en el vacío (es decir, en ausencia de oxígeno). Este proceso genera hidrocarburos líquidos o sólidos que pueden ser luego procesados en refinerías.

**PLÁSTICO:** compuestos constituidos por moléculas que permiten ser moldeadas mediante presión y calor, que además se caracterizan por presentar una relación resistencia/densidad alta y propiedades de aislantes térmicos y eléctricos.

**RELLENO DE SEGURIDAD:** instalación para dar disposición final en el terreno a residuos peligrosos no procesables, no combustibles o residuales de otros procesos de su tratamiento, los cuales mantienen su característica de peligrosidad.

**RESIDUO:** cualquier material descartado o abandonado, el cual puede encontrarse en estado sólido, líquido, semisólido, o con contenido gaseoso.

**SCRAP:** palabra de origen inglés que se traduce como chatarra o residuo.

**SOSTENIBILIDAD:** capacidad de un sistema ambiental de soportar presiones y demandas antrópicas.

**WORKOVER:** se refiere a cualquier tipo de intervención de pozo con técnicas invasivas como wireline, coiled tubing o snubbing.

## RESUMEN

La alta tendencia de utilización de líneas de tuberías flexibles para la construcción de oleoductos, gasoductos y líneas de transferencia de agua ha producido un aumento en los volúmenes de generación de residuos plásticos provenientes de dichas actividades. Esta generación de desecho hasta estos días no había sido antes considerada o cuantificada, ni había sido preocupación de alguno revisar los altos costos que conlleva la disposición de estos materiales acorde a las buenas prácticas que demanda el sector de hidrocarburos y la legislación colombiana.

El presente documento incluye una propuesta de alternativas de aprovechamiento de residuos de tubería flexible en materiales compuestos generados durante la construcción de oleoductos, gasoductos y líneas de transferencia de agua. Dicha propuesta responde a la necesidad de buscar opciones que permitan reducir los mencionados costos de disposición de estos materiales; y adicionalmente, responde a la tendencia que se impone por estos días por prolongar la vida útil de materiales residuales mediante la reincorporación bajo subproductos como reflejo de un compromiso de sostenibilidad pretendido por diferentes sectores productivo. En consecuencia, se presenta una detallada descripción y caracterización de las principales tecnologías en cuanto a la fabricación de sistemas de tubería flexible en materiales compuestos, así como un análisis de la dinámica de generación de los residuos; para finalmente, identificar alternativas de uso y/o aprovechamiento de dichos materiales.

**Palabras claves:** Gestión Integral de Residuos, Aprovechamiento, Sostenibilidad Ambiental, plásticos.



## INTRODUCCIÓN

La utilización de materiales compuestos para la elaboración de tuberías flexibles ha tenido una gran cobertura en diferentes sectores del mercado energético, en el que se destaca la distribución de agua e hidrocarburos para el sector petrolero. De acuerdo con Stewart<sup>1</sup>, en los inicios de los años 70's se empezó a utilizar materiales compuestos para la elaboración de tuberías flexibles con el objetivo de distribuir agua e hidrocarburos en el sector petrolero. Revisiones de experiencias de campo hechas por la compañía Technip<sup>2</sup> datan que para noviembre de 1971 se realizó la primera instalación de tubería flexible de una línea de 650 metros por la compañía Elf Emeraude.

Según Makselon<sup>3</sup>, la tubería flexible ofrece una gran variedad de beneficios entre los que se encuentra resistencia a la corrosión, largos tramos de tubería en carretes que permite la instalación de largas longitudes 600% más rápida, buena resistencia mecánica, menores pérdidas de presión y resistencia a la abrasión. Esto ha hecho que este tipo de tecnología se haya convertido en una alternativa muy importante para la industria y que cada vez tenga mayor cabida en los proyectos a ejecutar.

Por su parte, Owens<sup>4</sup> sostiene que en los últimos 12 años se ha incluido y variado en distintas formas los materiales de los que está compuesta la tubería flexible según el fabricante, esto ha hecho que en la actualidad se tenga una gran variedad de productos que responden a las condiciones requeridas en la industria. Según sus cifras, para el año 2012 en Estados Unidos se ha instalado alrededor de 15.000 km de tubería por más 450 operadoras alrededor del país.

La presente investigación pretende estudiar alternativas de uso y/o aprovechamiento de residuos plásticos provenientes de tubería flexible en materiales compuestos para viabilizar lo que actualmente se considera como desecho en materia prima, y de esta manera generar alternativas para incorporarlos en el sector productivo nuevamente, favoreciendo la reducción de costos del desecho, con un claro reflejo en el manejo responsable con el medio ambiente y la sostenibilidad del negocio.

---

<sup>1</sup> STEWART, Richard. Plastic Pipe: Corrosion resistance, easy of installation stimulate demand [en línea]. En: Plastics Engenierring. Society of Petroleum Engineering. p. 3. 2005. [Consultado: 23,enero,2016]. Disponible en [https://plasticpipe.org/pdf/plastic\\_pipe\\_corrosion\\_resistant.pdf](https://plasticpipe.org/pdf/plastic_pipe_corrosion_resistant.pdf)

<sup>2</sup> ANÓNIMO. Flexible pipe: Technip at a glance[en línea]. En: Engineering and technologies. Technip Corporation. p. 7. 2015. [Consultado: 23,enero,2016]. Disponible en < [https://www.technip.com/sites/default/files/technip/fields/publications/attachments/flexible\\_pipe\\_july\\_2015\\_web.pdf](https://www.technip.com/sites/default/files/technip/fields/publications/attachments/flexible_pipe_july_2015_web.pdf) >

<sup>3</sup> MAKSELON, Christopher. *et al.* Field Case Study: Wyoming operator discovers that not all spoolable pipelines perform alike [en línea]. En: Fiberspar Corporation. p. 1. 2012. [Consultado: 24,enero,2016]. Disponible en <http://ethesis.nitrkl.ac.in/4640/1/211CE3244.pdf>

<sup>4</sup> OWENS, Nick. After installing 15,000 km of Spoolable Glass Reinforced Epoxy pipe in North America this revolutionary technology has come to Australia [en línea]. En: OilGas CBM Services. Fiberspar Corporation. p. 1. 2012. [Consultado: 24,enero,2016]. Disponible en < [http://www.oilgascbm.com/pdfs/pi\\_peline\\_article.pdf](http://www.oilgascbm.com/pdfs/pi_peline_article.pdf) >

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Proponer alternativas de aprovechamiento de residuos generados de tubería flexible en materiales compuestos durante la construcción de oleoductos y gasoductos.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar los residuos generados a partir de tubería flexible en materiales compuestos.
- Describir la dinámica de generación y manejo de residuos de la tubería flexible durante la construcción de oleoductos y gasoductos.
- Analizar la gestión actual de residuos plásticos en la industria petrolera bajo el concepto de ciclo de vida del producto.
- Identificar alternativas para el manejo sostenible de residuos de materiales compuestos.
- Estudiar productos que se pueden obtener a partir del reciclaje o aprovechamiento de residuos provenientes de tubería flexible en materiales compuestos.

# 1. CARACTERIZACIÓN DE LA TUBERÍA FLEXIBLE EN MATERIALES COMPUESTOS

El presente capítulo contiene información general en relación a las principales características de la tubería flexible utilizada para la construcción de líneas de transferencia de petróleo, agua o gas en el sector energético. Dicha caracterización permite reconocer el tipo de desecho que se genera durante su utilización y consecuentemente, permite identificar las posibles oportunidades de manejo y aprovechamiento que podrían tener estos materiales.

## 1.1 IMPORTANCIA DE LA TUBERIA FLEXIBLE

La tubería en acero al carbón ha proporcionado una gran oportunidad de negocio con oleoductos y gasoductos en cuanto a costo de materiales, desempeño, funcionalidad y resistencia; sin embargo, tal como lo expresa Lesage<sup>5</sup> las líneas en acero al carbón presentan ciertas limitantes siendo la corrosión la cabeza de estas, con potenciales consecuencias no sólo económicas sino ambientales.

De acuerdo con Koch<sup>6</sup>, un estudio del Departamento Nacional de Transporte de los Estados Unidos realizado en el 2001, estima los costos anuales de la corrosión en USD\$ 22,600 millones para el sector de infraestructura representado en un 16.4% del costo total, tal como lo muestra el **Gráfico 1**; y además estima que de este valor, el costo asociado a líneas de superficie para el transporte de petróleo y gas es de USD\$ 7,000 millones lo que significa un 31% del costo para este sector como se evidencia en el **Gráfico 2**.

Para Koch<sup>7</sup>, este último valor equivaldría entonces a más del 5% del costo total de corrosión en los Estados Unidos, el cual está contemplando el desarrollo de actividades de monitoreo, reemplazo y mantenimiento en los más de 2,785,000 km de líneas de gas y 1,739,000 km de oleoductos con los que cuenta los Estados Unidos.

Entre otras de sus limitantes se encuentra las actividades que envuelven su instalación, las cuales se encuentran asociadas al bajo rendimiento de instalación que presenta; de modo que la necesidad de ejecutar obras mecánicas y de calidad como pre-doblado, doblado, corte, soldadura, radiografía, pintura, protección catódica, entre otras, encarece un proyecto considerado a ser ejecutado con este material.

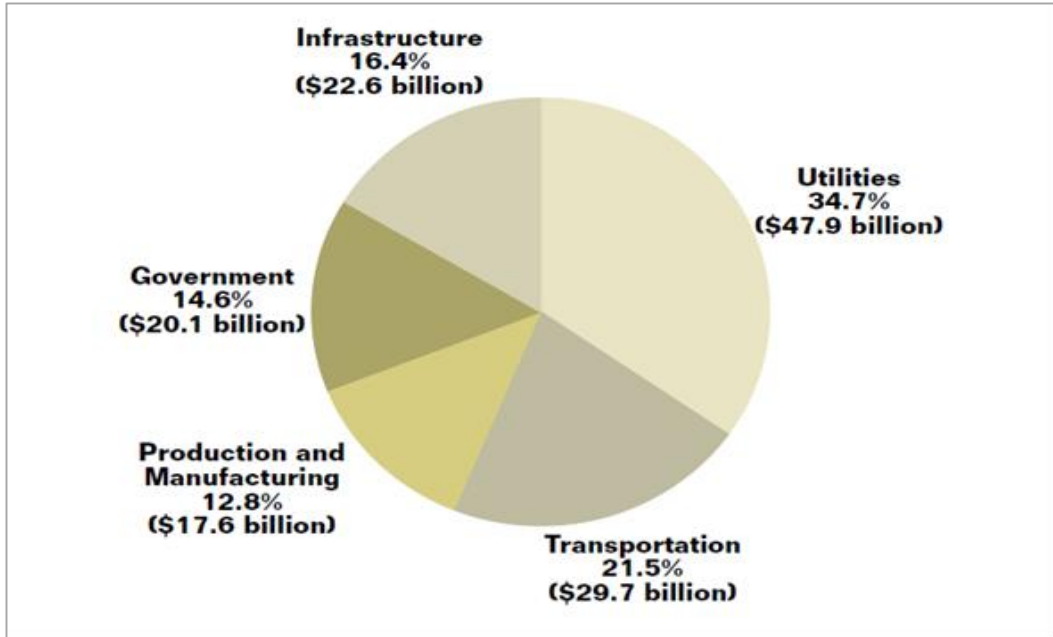
---

<sup>5</sup> LESAGE, Nathan. Using Reinforced Thermoplastic Pipe (RTP) In Natural Gas Distribution Applications. Flexpipe Systems: Plastics Pipes XV. Vancouver. 2010. p. 1.

<sup>6</sup> KOCH, G.H. *et al*, Corrosion Cost and Preventive Strategies in the United States. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. Houston. 2001. p. 4.

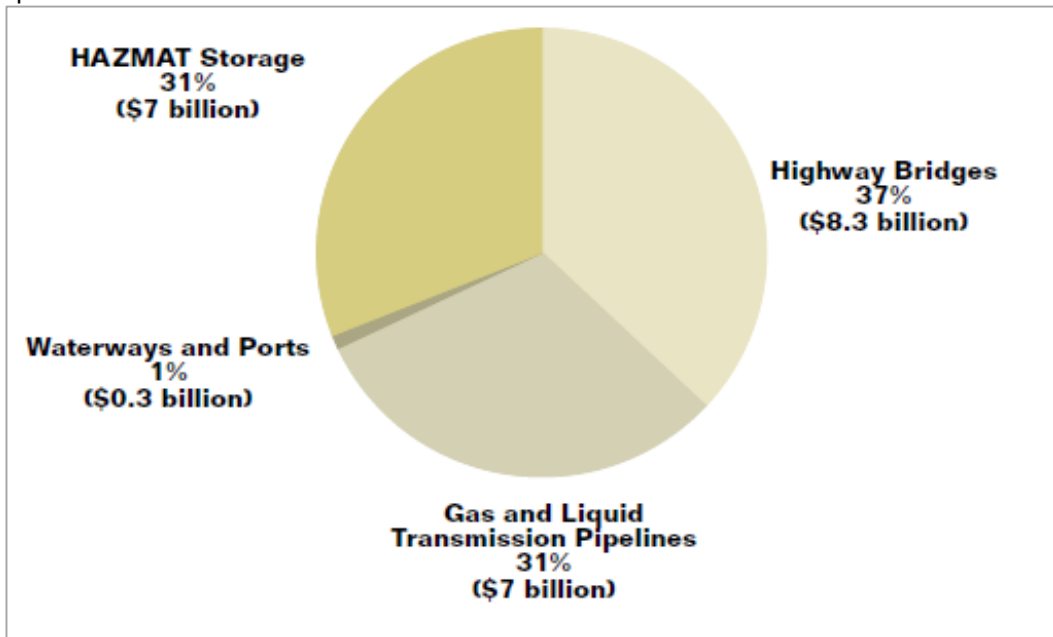
<sup>7</sup> *Ibid.*, p. 6.

**Gráfico 1.** Costos totales por corrosión para el año 2000 en Estados Unidos.



**Fuente:** KOCH, G.H. et al, Corrosion Cost and Preventive Strategies in the United States. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. Houston. 2001. p. 4.

**Gráfico 2.** Costos totales por corrosión en líneas de transferencia de hidrocarburos para el año 2000 en Estados Unidos.



**Fuente:** KOCH, G.H. et al, Corrosion Cost and Preventive Strategies in the United States. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. Houston. 2001. p. 5.

De modo que, dando respuesta a nuevas alternativas, se fortaleció los estudios en la utilización de materiales compuestos para prevenir condiciones que favorezcan fenómenos de corrosión y adicionalmente, que por su naturaleza brindaran beneficios asociados a su facilidad en el manejo, almacenamiento e instalación.

De esta manera se inició, creció y se popularizó el uso de tuberías flexibles en la construcción de oleoductos y gasoductos en el mundo. Su importancia, entre otras cosas, radica en las limitantes en que presenta el acero al carbón, las cuales fueron trabajadas y superadas luego de años de estudio, desarrollo y mejoramiento de este tipo de tecnologías.

## **1.2 GENERALIDADES DE LA TUBERIA FLEXIBLE**

Las tuberías flexibles enrollables son en resumen contrarias a las tuberías metálicas: ligeras, fácil de transportar y almacenar, resistentes a la corrosión, durables y fáciles de instalar.

La American Petroleum Institute<sup>8(\*)</sup> (en adelante API) define a las tuberías flexibles como un sistema de transporte de fluidos en el que el tubo flexible es el componente principal, el cual incluye componentes auxiliares unidos directa o indirectamente a la tubería. Adicionalmente, afirma que la gran facilidad de flexión permite que esta tubería sea colocada en trabajos de remediación de tubería de diámetro relativamente pequeño. Por lo tanto, este tipo de tecnología puede ser fácilmente almacenada, transportada e instalada.

A nivel general, esta tecnología presenta las siguientes características:

- Fabricada a partir de materiales poliméricos y compuestos, lo que le confiere una importante ligereza.
- Resistente a corrosión interna y eterna.
- Resistencia al manejo de H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>.
- No permite la adhesión de parafinas dado a la baja rugosidad del material.
- Requiere de mínimo mantenimiento.
- Menores pérdidas de presión en comparación al acero debido a su bajo coeficiente de fricción.
- Instalación fácil, ágil y económica.

## **1.3 CLASIFICACIÓN DE LA TUBERIA FLEXIBLE**

De forma general, las tuberías flexibles están conformadas por dos componentes básicos: capas estructurales helicoidales y capas de polímeros. Esta configuración

---

<sup>8</sup> AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). Recommended Practice 17B. Recommended Practice for Flexible Pipe. Fifth Edition. May 2014. p. 3.

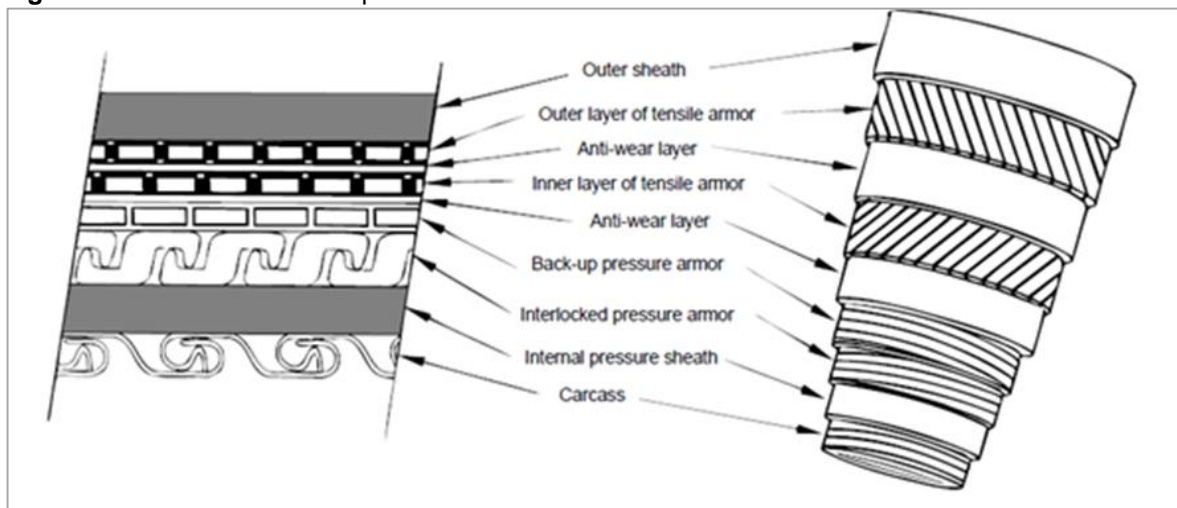
(\*) AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, en adelante será nombrado por sus siglas, API.

puede presentarse por medio de tubos flexibles unidos (***bonded flexible pipes***) o tubos flexibles no unidos (***unbonded flexible pipes***); diferenciación que la API utilizó para clasificar la tubería flexible en estas dos categorías y una serie de familias de tuberías a través de la Práctica Recomendada 17B como sigue:

### 1.3.1 Tubería Flexible No Unida (Unbonded flexible pipe)

Las tuberías flexibles no unidas presentan una configuración multicapa de capas poliméricas y metálicas separas y no unidas que le permite un movimiento relativo entre dichas capas. Una configuración típica de una tubería flexible no unida se presenta en la **Figura 1**.

**Figura 1.** Sección transversal típica de una tubería flexible no unida.



**Fuente:** AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). Recommended Practice 17B. Recommended Practice for Flexible Pipe. Fifth Edition. May 2014. p. 12.

Se identifican entonces cuatro (4) componentes principales, los cuales han sido definidos por la API<sup>9</sup> de la siguiente manera:

- **Carcasa:** capa metálica interconectada que proporciona resistencia al colapso.
- **Cubierta para presión interna:** capa de polímero extruido que proporciona integridad para el fluido interno.
- **Coraza de presión:** capa metálica interconectada que apoya la cubierta de presión interna y proporciona soporte a las cargas de presión en dirección radial. Una capa de coraza de respaldo (generalmente no entrelazado) puede ser utilizada para aplicaciones a alta presión.

<sup>9</sup> Ibid., p. 17.

- **Coraza de tensión:** capa que utiliza típicamente tiras metálicas planas, redondas o con alguna forma en dos (2) o cuatro (4) tranzados en un ángulo de 20° o 60°.
- **Coraza externa:** capa fabricada en un polímero extruido que proporciona integridad a todo el sistema y protege de cualquier condición externa a la tubería.

### 1.3.2 Tubería Flexible Unida (Bonded Flexible Pipe)

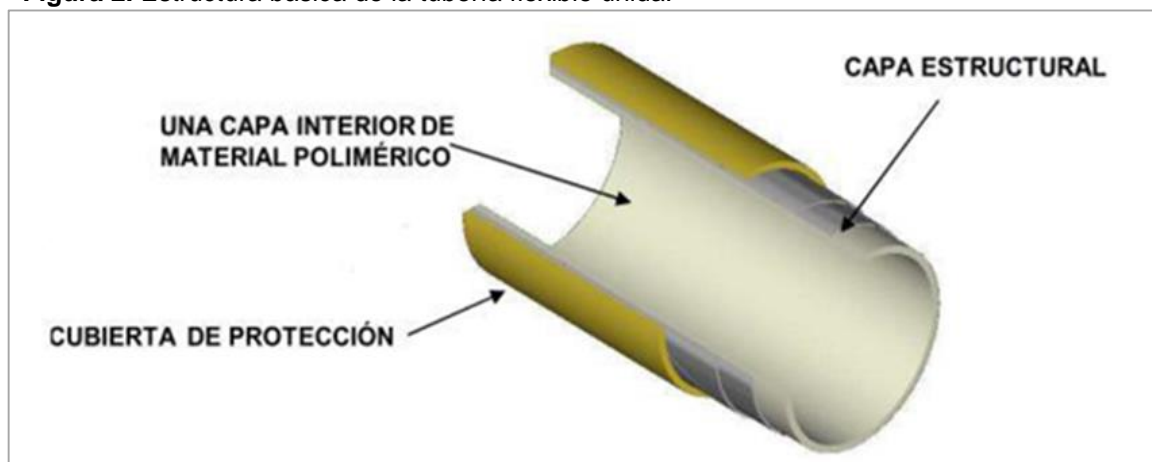
La tubería flexible unida es la más ampliamente utilizada y por ende es centro del objeto de estudio en este trabajo. Esta tubería se concibe actualmente como un sistema multicapa en el que su capa estructural es normalmente un material de refuerzo no metálico, y componentes poliméricos constituyen las demás capas. De acuerdo con Braestrup<sup>10</sup>, este tipo de tuberías flexibles enrollables se caracterizan por tener un diseño personalizado a las necesidades que se requieren en campo, con complejos principalmente tricapa, fabricados a partir de un cierto número de tiras metálicas o de refuerzo no metálico (nylon, fibra de vidrio, fibra de aramida) combinado con un liner interno y externo de polímero; es importante destacar que el número, tipo y secuencia de los componentes dependerá directamente del diseño tecnológico específico de cada fabricante.

Una estructura típica de una tubería flexible enrollable se muestra en la **Figura 2**, la cual consiste en una capa estructural constituido en un material no metálico (capa intermedia), un liner interno constituido por un polímero que mejora las condiciones de flujo al tener menor rugosidad que el acero, y una capa externa de polímero que protege la capa intermedia de la abrasión y que en ocasiones es considerada como parte de la capa estructural. El **Cuadro 1** resume las tres capas descritas y sus principales propiedades y ventajas.

---

<sup>10</sup> BRAESTRUP, Mikael. Design and Installation of Marine Pipelines. Oxford: Backwell Science. 2005. p. 278.

**Figura 2.** Estructura básica de la tubería flexible unida.



**Fuente:** ARCINIEGAS, Javier. Exploración superficial de grietas y deformaciones en tubería flexible con refuerzo no metálico para el transporte de hidrocarburos a partir de la metodología de proyección de franjas.

**Cuadro 1.** Características principales de la tubería flexible unida.

Capa Interna	Capa Intermedia	Capa Externa
<p><b>Reduce la caída de presión.</b></p>	<p><b>Resistencia a la corrosión.</b></p>	<p><b>Fácil manipulación, menor peso, bajo costo instalación.</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contiene el fluido transportado, actuando como barrera química.</li> <li>- Baja rugosidad, mejorando condiciones de flujo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Refuerzo no metálico. Normalmente: Fibra trenzadas en vidrio, nylon, fibras de aramida.</li> <li>- No requiere de protección catódica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protege la capa intermedia de la abrasión. Resistente a los rayos UV.</li> <li>- 85% más ligera que el acero Sin juntas. No requiere de soldadura.</li> </ul>

**Fuente:** DALMEDON, B. Reinforced Thermoplastic Pipeline (RTP) Systems. 2013 Gas Conference. Adaptado por el autor.

### 1.3.2.1 Generalidades de los Materiales

Para poder identificar los principales materiales en que se fabrica la tubería flexible unida, es necesario hacer uso de las recomendaciones y especificaciones que presenta la norma API 17B. Sin embargo, es necesario aclarar que los materiales que se mencionan hacen referencia al componente principal, puesto que el material definitivo, entendiéndose como la fórmula exacta o mezcla de materiales es, generalmente, específica y propia de cada fabricante siendo entonces información confidencial y no disponible para terceras partes.



Es así como la API<sup>11</sup> define los materiales típicos de esta clase de tubería tal como se encuentran resumidos en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Materiales típicos para tubería flexible unida.

Typical Polymer Materials for Flexible Pipe Applications	
Layer	Material Type
Internal pressure sheath	HDPE, XLPE, PA-11, PA-12, PVDF
Intermediate sheaths	HDPE, XLPE, PA-11, PA-12, PVDF
Outer sheath	HDPE, PA-11, PA-12
Insulation	PP, PVC, PU

Note:  
 1. The insulation may be solid material, foam, or syntactic foam.  
 2. MDPE may be used instead of HDPE.

**Fuente:** AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Recommended Practice 17B. Recommended Practice for Flexible Pipe. Fifth Edition. May 2014. p 41. Adaptada por el autor.

Como se evidencia en la anterior tabla, los principales materiales de la tubería flexible unida son polímeros entre los cuales se destaca el Polietileno de Alta Densidad (HDPE por sus siglas en inglés), Polietileno de Media Densidad (MDPE por sus siglas en inglés), Polietileno Reticulado (XLPE por sus siglas en inglés), Poliamida o Nailon 11 y 12 (PA-11 y PA-12 por sus siglas en inglés), Polifluoruro de Vinilideno (PVDF por sus siglas en inglés), Polipropileno (PP por sus siglas en inglés), Poliuretano (PU por sus siglas en inglés) y el Cloruro de Polivinilo (PVC por sus siglas en inglés).

De acuerdo con la API<sup>12</sup>, las propiedades del PA-12 son inicialmente muy similares al PA-11, aunque su proceso de envejecimiento por el contrario, es muy diferente. Para aplicaciones a alta temperatura, el PA-11 puede ser más adecuado que el HPDE para la capa externa, debido a la mejor resistencia a la abrasión y comportamiento a la fatiga. Adicionalmente, expresa que el XLPE es un grado especial de polietileno que se consigue por un proceso de reticulación (definido como una red tridimensional formada por la unión de las diferentes cadenas poliméricas) el cual es alcanzado con el objetivo de mejorar las propiedades básicas del polietileno. Las propiedades del PVDF dependen parcialmente del proceso de polimerización, los dos procesos que de acuerdo con la API son actualmente utilizados para producir PVDF durante la fabricación de tubería

<sup>11</sup> AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Recommended Practice 17B. Recommended Practice for Flexible Pipe. Fifth Edition. May 2014. p. 41.

<sup>12</sup> Ibid., p. 42.

flexible en la industria son los procesos de emulsión y suspensión; no obstante, una limitante con este material es el sello en el final de los accesorios.

La mayoría de estos materiales pertenecen al grupo de los termoplásticos, motivo por el cual es comúnmente llamado a este tipo de tecnología con el simple nombre de tubería plástica aun cuando el este concepto sea bastante amplio. Ahora bien, para profundizar en la lo que son los plásticos, es preciso recordar cuan amplia ha sido su utilización en un sin número de productos en nuestra vida cotidiana. Su existencia y empleo, en contradicción a lo que puede considerarse, no es reciente.

Para Aguado<sup>13</sup>, los materiales plásticos datan décadas; su origen puede remontarse a 1847 cuando Shönbein produjo la primera resina termoplástica, celuloide, producto de la reacción entre celulosa y ácido nítrico. Sin embargo, su aceptación general y la comercialización de estos materiales empezó durante la Segunda Guerra Mundial cuando polímeros naturales, como el caucho natural, se encontraban en escasos; de manera tal que para 1937 se empezó a conocer el poliestireno y en 1941 se desarrolló el polietileno de baja densidad, mientras que plásticos comerciales como el polietileno de alta densidad y polipropileno fueron introducidos en 1957.

Por su parte, entender que se define como material plástico es un trabajo un poco arduo y complejo, debido a que no se tiene una definición rápida, clara y concisa. Inicialmente, es importante destacar que como lo afirma Crompton<sup>14</sup>, el término “plástico” no puede asociarse a un solo material; la tecnología de los plásticos cubre una gran variedad de materiales que hacen parte de un grupo de compuestos orgánicos llamada polímeros, los cuales a su vez incluyen una serie de combinaciones y composiciones. Una visión muy amplia, permitiría definir los plásticos como cadenas moleculares largas producto de la unión de cadenas cortas de monómeros mediante una reacción conocida como polimerización; dichas cadenas que en su mayoría, poseen agentes de refuerzo como fibra de vidrio, talco, fibras de carbono, minerales de arcilla, mica y rellenos como carbonato de calcio, vidrio, sílice, lubricantes, entre otros.

Según Schott<sup>15</sup>, se han reportado más de 35,000 diferentes plásticos disponibles para alcanzar los requerimientos de diversos productos demandados en el mercado. Schott agrupa las principales materias primas durante la fabricación de plásticos en tres (3) grandes grupos dependiendo de su procedencia: gas natural, petróleo y carbón, como lo muestra la **Figura 3**. Adicionalmente, a partir de los mencionados grupos, esquematiza los principales plásticos producidos, sus

---

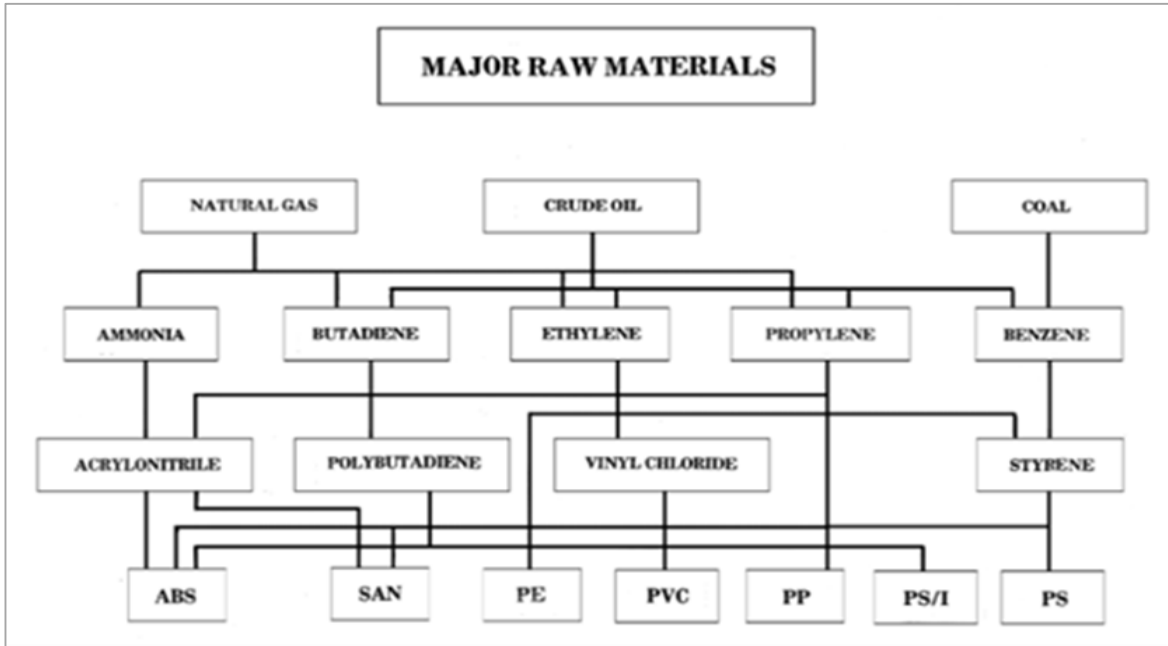
<sup>13</sup> AGUADO. J. *et al.* Feedstock Recycling of Plastic Wastes. Cambridge: J.H. Clark, University of York, UK, 1999. p. 1

<sup>14</sup> CROMPTON. T.R. Engineering Plastics. Shrewsbury: Smithers Rapra Technology Ltd, UK, 2014. p. 1

<sup>15</sup> SCHOTT. Nick. *et al.* Plastics Technology Handbook – Volume 1: Introduction-Properties-Fabrication-Processes. New York: Momentum Press, LCC, 2010. p. 6

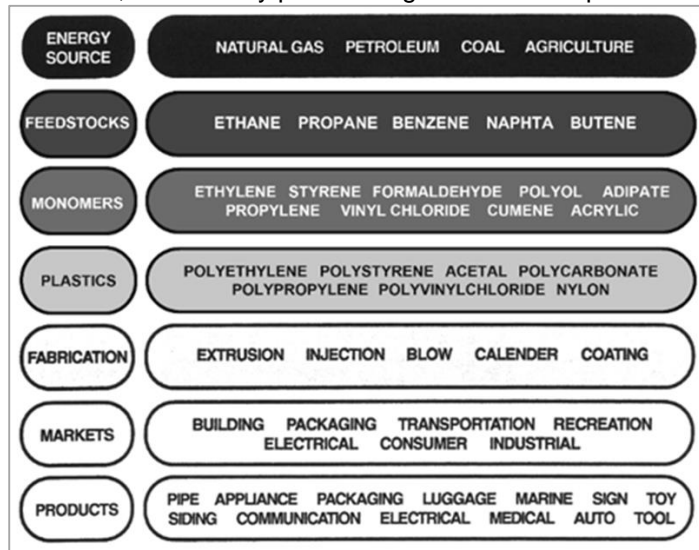
métodos de fabricación, los mercados que satisfacen y los principales productos que se elaboran. El diagrama de flujo incluido en la **Figura 4** permite ver un resumen del esquema propuesto por Schott.

**Figura 3.** Principales materias primas para la fabricación de plásticos.



**Fuente:** SCHOTT. NICK et al. *Plastics Technology Handbook – Volume 1*. New York: Momentum Press, LCC, 2010. p. 2.

**Figura 4.** Esquema básico de materias primas, métodos de fabricación, mercados y productos generados con plástico.



**Fuente:** SCHOTT. NICK et al. *Plastics Technology Handbook Volume 1*. New York: Momentum Press, LCC, 2010. p. 3.

De esta manera, hoy en día, los plásticos son materiales muy importantes que tienen un extenso uso en la manufactura de una gran variedad de productos. Dentro de las principales razones que describe Aguado<sup>16</sup> para la continua demanda de plásticos comerciales son:

- Sólidos de baja densidad, los cuales hacen posible la fabricación de objetos de bajo peso.
- Poseen bajas conductividades térmicas y eléctricas, por lo tanto son ampliamente utilizados como material de aislamiento.
- Materiales fácilmente moldeados en cualquier forma deseada.
- Usualmente exhiben alta resistencia a la corrosión y bajas tasas de degradación.
- Materiales de bajo costo.

### **1.3.2.2 Propiedades de los Materiales**

Para la definición de los materiales con los que se va a construir la tubería, es de vital importancia revisar y analizar las propiedades de los materiales y su respectivo comportamiento. De manera general, los tres factores determinantes en la elección son: compatibilidad a fluidos, exposición al gas y rangos de operación con temperatura.

La compatibilidad con los fluidos que tienen los materiales de la tubería flexible depende en gran medida de la temperatura del servicio, sin embargo una buena aproximación se presenta en la **Cuadro 2**.

---

<sup>16</sup> AGUADO. J. *et al.* Feedstock Recycling of Plastic Wastes. Cambridge: J.H. Clark, University of York, UK, 1999. p. 1

**Cuadro 2.** Compatibilidad fluidos de polímeros que componen tubería flexible unida.

Material	Compatibilidad	Resistencia a Permeabilidad
HPDE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buen envejecimiento y resistencia a ácidos, agua con alto contenido de cloruros y crudo.</li> <li>- Baja resistencia a las aminas y altamente sensible a la oxidación.</li> <li>- Susceptible a fisuras por esfuerzos externos (entornos que incluyen los alcoholes e hidrocarburos líquidos).</li> </ul>	Buena resistencia sólo a baja presión y baja temperatura.
XLPE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buen envejecimiento y resistencia a agua con alto contenido de cloruros, ácidos débiles (depende de concentración y frecuencia) y fluidos de producción con alto contenido de agua.</li> <li>- Débil resistencia a las aminas y ácidos fuertes, así como altamente sensible a la oxidación.</li> <li>- Menos susceptible a fisuras por esfuerzos externos que el HPDE (entornos que incluyen los alcoholes e hidrocarburos líquidos).</li> </ul>	Mejor resistencia que el HPDE, con resultados positivos en presiones por encima de los 3000 psi.
PA-11	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buen envejecimiento y resistencia a crudo.</li> <li>- Resistencia limitada a ácidos a altas temperaturas (recomendado pH &gt; 4.5). Resistencia baja a altas temperaturas cuando hay cualquier presencia de agua líquida.</li> <li>- Buena resistencia a fisuras por esfuerzos externos.</li> </ul>	Buena resistencia hasta los 7500 psi y 100°C.
PVDF	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compatible con la mayoría de los fluidos producidos o inyectados en un pozo. Buen comportamiento incluso a altas temperaturas y compatibilidad incluye alcoholes, ácidos, solventes clorados, alifáticos e hidrocarburos aromáticos.</li> <li>- Baja resistencia a aminas fuertes, ácido sulfúrico y nítrico concentrado e hidróxido de sodio (recomendado pH &lt; 8.5).</li> <li>- Alta resistencia a fisuras por esfuerzos externos.</li> </ul>	Buena resistencia hasta los 7500 psi y 130°C.

**Fuente:** AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Recommended Practice 17B. Recommended Practice for Flexible Pipe. Fifth Edition. May 2014. p 43. Adaptada por el autor.

Por su parte, la tolerancia que tiene al gas es una consideración demasiado importante y esto es debido a la posibilidad de que el gas permee las capas de polímeros y esto en consecuencia, pueda ocasionar inconvenientes de tipo logístico o incluso alterar el desempeño adecuado de la tubería. En ese sentido, la **Cuadro 2** también incluye la resistencia típica del material en cuanto a su tolerancia a la presión interna y la posibilidad de permitir que el gas se permee desde el liner interno de la tubería, el cual puede generar anulares en la tubería y puede ocasionar que se requiere instalar en las líneas a tender algún tipo de venteo encareciendo un proyecto realizado con este tipo de tecnologías.

Finalmente, tan importante como el tipo de fluido a transportar y la presión máxima que pueda soportar, la temperatura es un factor muy importante dentro de la selección del material. La **Tabla 2** muestra a nivel general los rangos de operación en temperatura en los que se puede utilizar cada uno de los polímeros, con la consideración de que son unos valores que no están contemplando el tipo de servicio (fluido) en el que se va a emplear la tubería.

**Tabla 2.** Rangos de operación típicos para tubería flexible unida.

Polymer Material	Minimum Exposure Temperature (°C)	Maximum Continuous Operating Temperature (°C)	Water Cut Limits <sup>1</sup>
HDPE	-50	+60	0-100 percent
XLPE	-50	+90	0-100 percent
PA-11	-20 -20	+90 +65	0 percent 0-100 percent
PVDF	-20	+130	0-100 percent

**Fuente:** AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Recommended Practice 17B. Recommended Practice for Flexible Pipe. Fifth Edition. May 2014. p 42. Adaptada por el autor.

## 2. DINÁMICA DE GENERACIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS DE TUBERÍA FLEXIBLE ENROLLABLE DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE OLEODUCTOS Y GASODUCTOS

Este capítulo describe la dinámica de generación y manejo de residuos de la tubería flexible durante la construcción de oleoductos y gasoductos. En el desarrollo de este apartado, se presentará las etapas del proceso de generación de residuos, (almacenamiento, transporte, manipulación e instalación) identificando los principales residuos generados que permitan reconocer cuál es la gestión actual de manejo que se realiza a estos desechos después de los diferentes procesos.

### 2.1. GENERACIÓN DE RESIDUOS DE TUBERÍA FLEXIBLE EN MATERIALES COMPUESTOS

Una vez entendido el diseño y los materiales que componen la tubería flexible en materiales compuestos, es claro reconocer que residuos de tubería pueden generarse debido a una gran cantidad de fallas; estas fallas pueden ocasionarse producto del mal diseño de la tubería, problemas de calidad de los materiales que la componen, errores durante su fabricación, problemas en su almacenamiento, manipulación y finalmente, durante su instalación. No obstante, es preciso recordar que el presente trabajo tiene como objeto la identificación de las alternativas de manejo y aprovechamiento de los residuos generados durante la construcción de oleoductos y gasoductos, motivo por el cual, fuera del presente análisis quedan los procesos y residuos que se generan durante la fabricación y el manejo que se le da en planta. Es de interés entonces, hacer énfasis en las causas asociadas al proceso de almacenamiento, transporte desde planta a destino final, manipulación propia de la tubería e instalación.

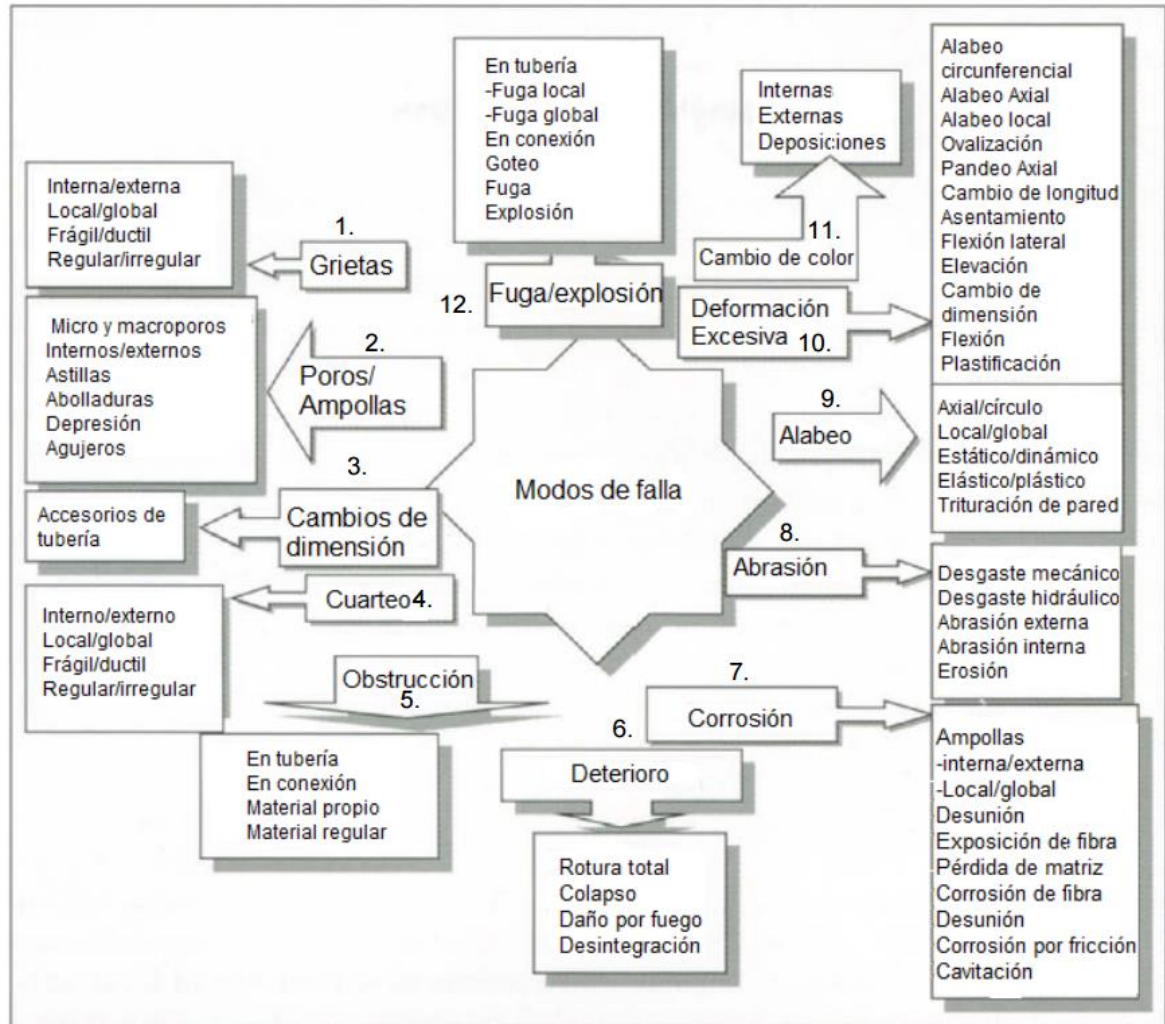
En este sentido, Farshad<sup>17</sup> propone una serie de posibles manifestaciones de falla de la tubería que están directamente asociados a la generación de residuos. Estas posibilidades fueron asociadas en doce (12) grupos dependiendo del tipo de manifestación de la falla y un resumen se presenta en la **Figura 5**. Es importante rescatar que de los doce (12) grupos estudiados por Farshad, tres (3) causas de falla (Obstrucción, Fuga/Explosión y Corrosión) no estarían incluidas dentro de las dinámicas de estudio del presente trabajo, y que han sido expuesto con anterioridad, debido a que para el caso de las dos primeras causas sólo pueden ocurrir una vez construida la línea y se ocasionarían como producto de la puesta en marcha del oleoducto y/o gasoducto, y para la tercera, al concebirse las tuberías como estructuras constituidas por materiales compuestos (no

---

<sup>17</sup> FARSHAD, M. Plastic Pipe Systems: Failure investigation and diagnosis. Elsevier Science Technology, UK, 2014. p. 32

susceptibles a la corrosión). Por lo tanto, dichos mecanismos y los residuos que se generan a partir de los mismos no serán estudiados en el desarrollo del trabajo.

**Figura 5.** Manifestaciones de falla de tubería flexible en materiales compuestos.



**Fuente:** FARSHAD, M. Plastic Pipe Systems: Failure investigation and diagnosis. Elsevier Science Technology, UK, 2014. p. 33.

Ahora bien, una descripción básica de cada manifestación de falla en la tubería flexible en materiales compuestos se presenta a continuación:

- **Grietas/Cuarteo:** De acuerdo con Gisbert<sup>18</sup>, las grietas se presentan en la parte externa, local o global, frágil o dúctil, de forma regular o irregular. Normalmente es ocasionada por un manejo inadecuado de la tubería, o del carrete que contiene la tubería.

<sup>18</sup> GISBERT, Xavier. *et al.* Revista de Materiales. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Subdirección General de Cooperación Internacional. España. 2013. p 10.



- **Poros y ampollas:** Para Gisbert<sup>19</sup>, se manifiestan en la superficie de la tubería flexible tanto de la capa externa como el liner interno de la tubería. Estas alteraciones afectan las propiedades mecánicas, y se dan en forma de poros o micro poros, depresiones o agujeros. Se generan principalmente debido a una fuerza inadecuada o golpe al material.
- **Cambios de dimensión:** Esta manifestación corresponde a fallas en los procesos de instalación de accesorios en la tubería (conectores tubo a tubo o de final de servicio) para las tuberías de conexionado mecánico; o a fallas en los procesos de termo fusión para las tuberías flexibles termoplásticas.
- **Deterioro:** Se entiende por deterioro la desintegración de la toda o parte de la tubería ocasionada por algún agente externo presente en el ambiente en el que está expuesto la tubería como fuego o algún colapso recibido que puede incluso ocasionar ruptura total de la tubería.
- **Abrasión:** La abrasión puede considerarse como el fenómeno de desgaste interno o externo, mecánico o hidráulico que puede presentar la tubería debido al agente activo con el que se encuentra en contacto. Desgaste hidráulico no se considera en las etapas anteriores a la puesta en marcha de la tubería. Sin embargo, abrasión mecánica es bastante frecuente debido a que por las técnicas de instalación (arrastre), la tubería se ve totalmente expuesta a este tipo de condiciones.
- **Deformación excesiva/Alabeo:** Puede generarse en el contorno de la tubería, afectando su forma inicial, (cambio de flexión o de dimensión del tubo). La deformación excesiva se da por caídas de objetos, realizar amarres inadecuados para el izaje del material y tensionar la tubería sobrepasando sus límites estipulados.
- **Cambio de color:** Manifestado interna o externamente a lo largo de toda la tubería. Normalmente puede generarse externamente como producto de la exposición de la tubería a rayos UV en un entorno húmedo.

Ahora bien, los anteriores eventos de falla pueden ocasionarse por una diversidad de factores que están directamente relacionados con el entorno al que están siendo expuesta la tubería. De acuerdo con Farshad<sup>20</sup>, se incluyó al esquema anterior un resumen de los mecanismos presentes en el entorno que pueden afectar la integridad de la tubería y los agrupo en cuatro (4) grupos tal como se muestra en el **Cuadro 3**.

---

<sup>19</sup> Ibid., p. 11.

<sup>20</sup> FARSHAD, M. Plastic Pipe Systems: Failure investigation and diagnosis. Elsevier Science Technology, UK, 2014. p. 33.

**Cuadro 3.** Modo de falla por mecanismo de tubería flexible en materiales compuestos.

Mecanismo	Causa
Factores Mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presión interna y externa.</li> <li>- Presión negativa (vacío interno).</li> <li>- Cargas de tráfico y de superficie.</li> <li>- Presión del agua.</li> <li>- Efectos de longitud (tensión axial, compresión y flexión).</li> <li>- Cargas puntuales.</li> <li>- Fuerzas de impacto.</li> <li>- Fuerzas debido al cambio de dirección y puntos fijos.</li> <li>- Efectos dinámicos (vibraciones, fatiga).</li> <li>- Fuerzas hidrodinámicas.</li> <li>- Fuerzas de flotabilidad.</li> <li>- Tensiones residuales.</li> <li>- Acciones durante el almacenamiento y transporte.</li> <li>- Casos de cargas durante la instalación.</li> <li>- Deslizamiento de tierra, movimiento de fallas.</li> <li>- Licuefacción del suelo con desplazamiento lateral.</li> <li>- Derrumbes.</li> <li>- Cargas imprevisibles.</li> <li>- Fuerzas resultantes de la interacción con bases, apoyos y otras instalaciones.</li> <li>- Hundimiento parcial de la tierra.</li> <li>- Efectos debidos a las reparaciones.</li> </ul>
Factores Térmicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gradientes considerables de temperatura.</li> <li>- Envejecimiento térmico del material-</li> </ul>
Factores Químicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua.</li> <li>- Medio alcalino.</li> <li>- Ácidos.</li> <li>- Oxígeno.</li> <li>- Aceites.</li> </ul>
Factores Biológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Microbios.</li> <li>- Bacterias.</li> <li>- Animales.</li> </ul>
Factores a Largo Plazo (envejecimiento).	

**Fuente:** FARSHAD, M. Plastic Pipe Systems: Failure investigation and diagnosis. Elsevier Science Technology, UK, 2014. p. 35.

### 2.1.1 Fallas en procesos de Almacenamiento, Transporte, Manipulación e Instalación de tubería flexible

Una vez entendida la forma genérica en que la tubería puede verse afectada, es posible revisar el entorno activo al que son expuestas las tuberías durante los procesos de almacenamiento, transporte, manipulación e instalación que son los

que permiten evidenciar la forma en que se generan los residuos de tubería flexible.

Una breve descripción de las fallas en estos procesos y la forma en que se generan los residuos de tubería flexible son presentadas a continuación:

**a. Etapa del almacenamiento:** El almacenamiento es un punto primordial en el manejo de la Tubería flexible, el depósito inadecuado de la tubería, puede generar filtraciones U.V, esto trae como consecuencia el envejecimiento prematuro del material y deformaciones prematuras en la tubería.

El depósito inadecuado de la tubería flexible genera tramos no recuperables del material, por tanto es necesario cortar las secciones irre recuperables del tubo para la utilización. Estos pedazos generan residuos durante esta etapa del proceso.

Según Fiberspar<sup>21</sup>, en su Manual Guía de Instalación, asegura que durante el almacenamiento de las bobinas, hay que cumplir una serie de especificaciones para la correcta conservación de las tuberías flexibles. Estos cuidados según el manual consisten en almacenar las bobinas en superficies niveladas, para evitar que alguna protuberancia doble o dañe la capa exterior del tubo. Se debe disponer de bloqueos para que el carrete no pueda rodar, los carretes que estén en superficies suaves como gravilla o tierra tengan un soporte adecuado. El manual Fiberspar da los requerimientos para una óptima conservación de la tubería durante su almacenamiento.

**b. Etapa de manipulación:** Las tuberías flexibles tienen una composición química proporcional a los componentes utilizados en la fabricación del tubo, su manipulación debe ser cuidadosa y atender a los requerimientos demandados.

De acuerdo con PolyFlow<sup>22</sup>, en su Manuel de Instalación, hay que tener las siguientes precauciones para la correcta manipulación:

- Lo carretes no deben ser sujetados ni levantados de los flanches.
- La tubería flexible no puede ser levantada por los dientes de la monta carga.
- Que nada toque la tubería.
- Balancear peso del carrete y tubería.
- El carrete nunca debe ser levantado por la parte superior.
- Levante los carretes desde el eje central o desde los radios centrales.

---

<sup>21</sup> FIBERSPAR. Guía básica de instalación de tubería Fiberspar Rev 11.10.08. Fiberspar LLC. 2009. p. 17.

<sup>22</sup> POLYFLOW. Thermoflex. Manual de Instalación: Líneas de recolección, inyección, disposición y recubrimientos. Publicación No. 4. 2010. p. 12.

Hay varias precauciones para el manejo de los carretes, una de ellas, según Fiberspar<sup>23</sup>, es el manejo incorrecto de los carretes los cuales pueden generar lesiones personales, así como daño a la tubería. Es necesario tener en cuenta que el equipo de elevación utilizada, debe estar en un óptimo funcionamiento y debe estar clasificado para la carga y condiciones. Adicionalmente, es importante la capacitación del personal para el manejo de estos materiales, ya que si no se llevan a cabo, pueden ocurrir accidentes durante el manejo de las tuberías flexibles. Estas fallas generan tramos averiados en la tubería flexible, generando residuos de esta previos a su utilización.

**c. Etapa de transporte:** Durante esta fase según Farshad<sup>24</sup>, es posible que la tubería flexible sufra daños y deformaciones durante el trayecto recorrido. Se debe transportar en “lowboys” y con los parámetros sugeridos. Ahora bien, según Fiberspar<sup>25</sup>, la tubería solo debe ser transportada en los carretes bajo un marco en forma de “A” que permita asegurar la integridad de la tubería. La **Imagen 1** permite ver o de bobinado adecuado (ver imagen 1); ya que protege la tubería flexible de sufrir los daños mencionados.

**Imagen 1.** Correcta movilización de carretes de tubería flexible.



**Fuente:** FIBERSPAR. Guía básica de instalación de tubería Fiberspar Rev 11.10.08. Fiberspar LLC. 2009. p 17.

<sup>23</sup> FIBERSPAR. Op cit. p. 18.

<sup>24</sup> FARSHAD, M. Plastic Pipe Systems: Failure investigation and diagnosis. Elsevier Science Technology, UK, 2014. p. 33.

<sup>25</sup> FIBERSPAR. Guía básica de instalación de tubería Fiberspar Rev 11.10.08. Fiberspar LLC. 2009. p 17.

Es importante recordar que los carretes de tubería son estructuras de madera o acero, y normalmente son más pesadas que la tubería flexible enrollada en la bobina.

Para Polyflow<sup>26</sup>, para una correcta movilización se debe tener las siguientes precauciones:

- Los carretes siempre deben ser cargados verticalmente y no sobre sus lados.
- Los carretes se cargan en el camión o en el remolque paralelos a lo largo del camión.
- Se deben utilizar cadenas para sujetar los carretes a la plataforma del camión.
- Se pueden utilizar correas sujetándolas en cruz sobre el carrete nunca sobre la tubería directamente.
- Al realizar el envío de múltiples carretes, los bordes de los carretes (las bridas) deben estar en contacto la una contra la otra con el fin de darles estabilidad y para evitar que la brida de un carrete impacte o aplaste la tubería en otro carrete.

En caso de presentarse algún incidente durante el trayecto, la tubería sufrirá daños, averiando tramos, siendo necesario cortar el tramo de la tubería afectado generando residuos de tubería.

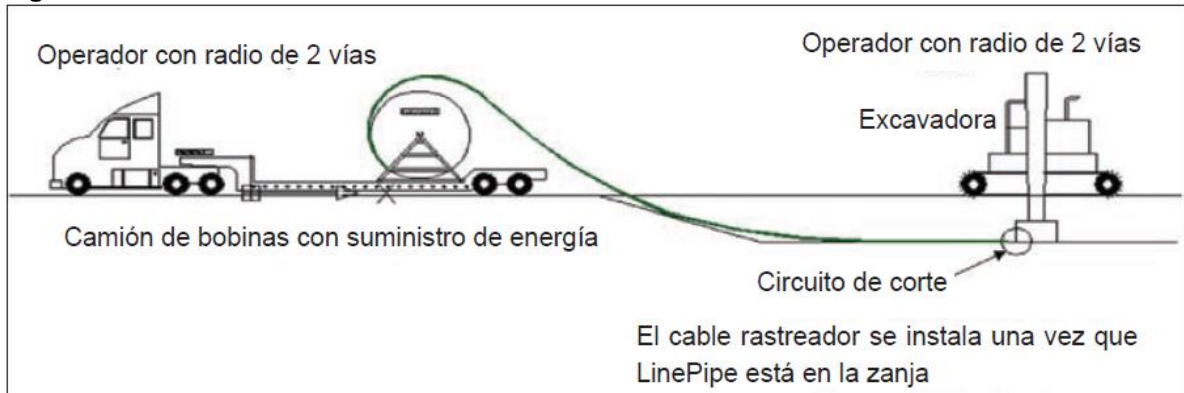
**d. Etapa de instalación:** A nivel general, se consideran dos (2) tipos de métodos de instalación de tubería flexible:

- **Carrete estático:** Esta forma de instalación es usada para suelos no rocosos. La estructura y carrete funcionan como punto de anclaje, mientras la tubería es halada por algún equipo móvil (excavadora, camión, camioneta etc.). Se utilizan equipos calibrados de corte para retirar los tramos dañados o que no sean necesarios. Se debe tener cuidado de la superficie donde se arrastra el tubo para evitar daños en la tubería flexible y evitar generar residuos. La **Figura 6** muestra un esquema básico de este tipo de instalación.
- **Carrete móvil:** Bajo esta forma de instalación el punto de anclaje debe estar previamente instalado o la tubería haber sido asegurada, la tensión mínima que debe soportar el anclaje o la conexión es la de elongación de la tubería flexible. Es implementado cuando se presentan suelos rocosos y altamente abrasivos., dado que este método reduce el daño por abrasión, En caso de ser una locación de difícil acceso se pueden usar remolques de menor tamaño. La **Figura 7** presenta un esquema típico de una instalación con carrete móvil.

---

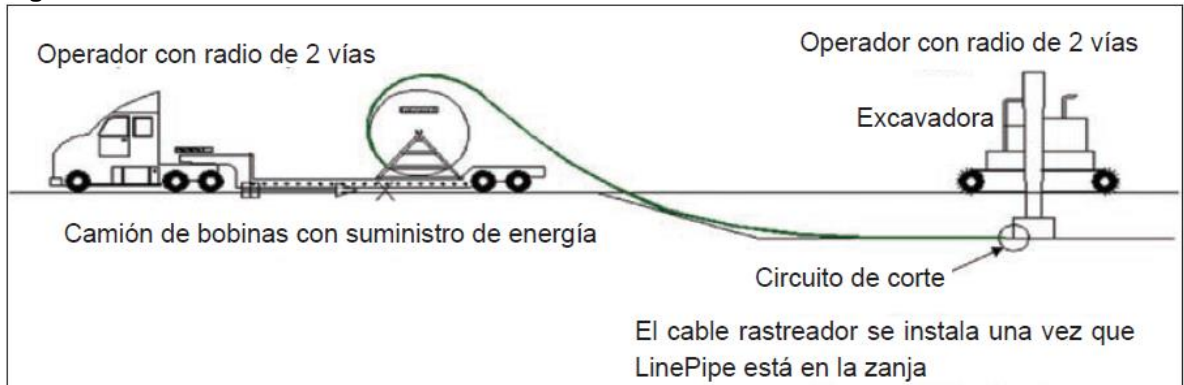
<sup>26</sup> POLYFLOW. Thermoflex. Manual de Instalación: Líneas de recolección, inyección, disposición y recubrimientos. Publicación No. 4. 2010. p 14.

**Figura 6.** Instalación de tubería flexible con carrete estático.



**Fuente:** FIBERPAR. Guía básica de instalación de tubería Fiberspar Rev 11.10.08. Fiberspar LLC. 2009. p 15.

**Figura 7.** Instalación de tubería flexible con carrete móvil.



**Fuente:** FIBERPAR. Guía básica de instalación de tubería Fiberspar Rev 11.10.08. Fiberspar LLC. 2009. p 15.

## 2.2 GESTIÓN ACTUAL DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA

De acuerdo con Garay<sup>27</sup>, en Colombia las cifras del Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) muestran que la industria del plástico ha sido la actividad manufacturera de mayor dinamismo en las últimas tres (3) décadas, presentando un crecimiento cercano al 7%. El impacto ambiental asociado a la producción de materias primas y en general, en la industria transformadora de resinas plásticas es poco significativo debido a factores como: a) la no utilización de combustibles

<sup>27</sup> GARAY, Carlos A. *et al.* Guías Ambientales – Sector Plástico. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [electrónico]. 2004. [consultado: 16, enero, 2016] Disponible en: [http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias\\_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/INDUSTRIAL%20Y%20MANUFACTURERO/Guias%20ambientales%20sector%20pl%C3%A1sticos.pdf](http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/INDUSTRIAL%20Y%20MANUFACTURERO/Guias%20ambientales%20sector%20pl%C3%A1sticos.pdf)

fósiles, b) bajo consumo de energía eléctrica, c) poca demanda de agua, d) bajo nivel de emisiones atmosféricas, entre otros. No obstante, la disposición de los residuos plásticos tiene un impacto ambiental en la medida en que los residuos sólidos sean dispuestos en botaderos a cielo abierto o en rellenos sanitarios, siendo estas las prácticas que predominan en Colombia.

Por ende, la Gestión de Residuos Sólidos (en adelante GRS) y en particular la de residuos plásticos, se convierte entonces en una determinante actividad para asegurar la sostenibilidad del negocio e industria del mismo. Es de importancia destacar entonces a la GRS se entiende como ese conjunto de operaciones encaminadas a dar a los residuos sólidos generados en una determinada zona, el tratamiento global más adecuado. Para Colomer<sup>28</sup>, los elementos o subsistemas que forman el sistema son todas las actividades asociadas a la gestión. Esta estructura puede dividirse en seis (6) elementos funcionales los cuales pueden apreciarse junto a sus interacciones en la **Figura 8**. Una breve descripción de cada elemento se presenta a continuación:

- **Generación de Residuos:** Etapa reconocida como el problema de la gestión. De ella depende cantidades generadas, la composición, variaciones, etc. Permite obtener la información necesaria para afrontar el diseño y las etapas posteriores.
- **Prerrecogida:** Supone las actividades de separación, almacenamiento y procesamiento en origen hasta que los residuos son depositados en los puntos de acopio. Incluye las actividades realizadas por el generador de los residuos. Su importancia radica en que establece las condiciones mínimas de facilidad en la recogida (condiciones higiénico-sanitarias).
- **Recogida:** Contempla las labores de carga y transporte de los residuos de las áreas de acopio hasta las estaciones de transferencia, vertedero o centros de tratamiento.
- **Transferencia y transporte:** Comprende las actividades por medio de las cuales los residuos son retirados de las zonas de generación. Incluye la transferencia desde la zona de recogida hasta las estaciones de transferencia donde se trasladan hasta el lugar de tratamiento o disposición.
- **Tratamiento:** Supone los procesos de separación, procesado y transformación de los residuos. La separación y procesado de los residuos se realiza en instalaciones de recuperación de materiales, donde los residuos llegan en masa o separados en origen. De allí son sometidos a procesos de separación manual, mecánica y empaquetado, con los cuales se obtiene una corriente de productos destinada al mercado de subproductos (valorización) y otra de

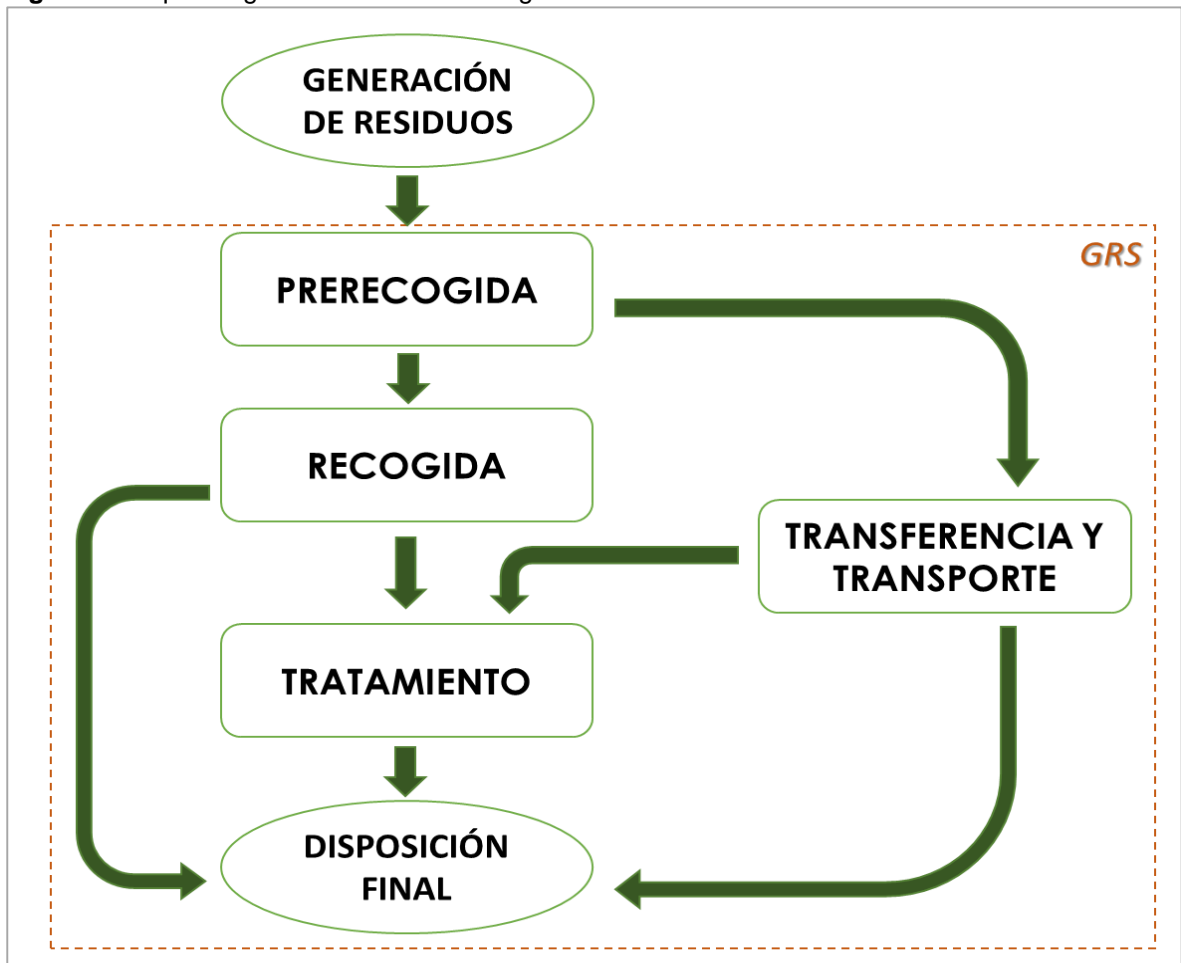
---

<sup>28</sup> COLOMER, Francisco y GALLARDO, Antonio. Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos. México D.F: Editorial Limusa S.A. 2007. p. 122.

rechazo destinada al vertido o tratamiento térmico. Los procesos de transformación que más destaca Colomer<sup>29</sup> son el compostaje, la incineración, la pirolisis o la gasificación.

- **Disposición Final:** Concebida como el destino final de los residuos o rechazos de instalaciones de transformación y procesado, normalmente vertederos.

**Figura 8.** Esquema general del sistema de gestión de residuos sólidos.



**Fuente:** COLOMER, Francisco y GALLARDO, Antonio. Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos. México D.F: Editorial Limusa S.A. 2007. p. 122. Adaptado por el autor.

No obstante, bajo la dinámica y el esquema de la sociedad actual, se presentan una serie de problemas ocasionados por la generación y la gestión de residuos debido principalmente a la cantidad y la diversidad de residuos, las condiciones variables en las que se desarrolla la GRS, el desarrollo urbanístico y los planes de ordenamiento de las zonas urbanas, la adaptabilidad y variación en la legislación en general, así como las limitaciones económicas propias de las instituciones (ya

<sup>29</sup> Ibid., p. 124.



sean públicas o privadas) que tienen a cargo la GRS. Condiciones, que a su vez, ocasionan una mala gestión y en consecuencia permiten que se presenten problemas como vertidos incontrolados, malos olores producidos por estos focos, contaminación atmosférica por incendios controlados, gran cantidad de roedores e insectos (vectores) portadores de enfermedades, entre otros.

En consecuencia, para evitar todos estos problemas, se evidenció la necesidad de trascender en lo que se conoce como GRS, y se enfatizó en que estas actividades debían realizarse de forma más eficaz y ordenada, y que para ello se debía identificar y comprender todas las relaciones y aspectos que intervienen en ella e *integrarlas*. De allí se incorporó el concepto de Gestión Integral de Residuos Sólidos (en adelante GIRS). De acuerdo con McDougall<sup>30</sup>, una GIRS combina los flujos de residuos que se generan, con las prácticas de recolección de dichos residuos, junto con las técnicas de tratamiento y actividades de disposición, con el objetivo de lograr beneficios ambientales, optimizar costos y lograr oportunidades económicas, que se ven reflejados en impactos positivos para la sociedad. McDougall hace énfasis en que dicha gestión integral deberá aplicar técnicas desarrolladas, tecnologías y programas de gestión idóneos para lograr dos objetivos: evacuación de residuos y recuperación de recursos.

Según Garay<sup>31</sup>, desde 1997 el Estado Colombiano ha tomado medidas para reglamentar el aprovechamiento y valorización (actividades propias de la GIRS) a través de instrumentos como La Política de Manejo Integral de Residuos Sólidos expedida por Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), el Decreto 1713 de 2002, la Resolución 1045 de 2003 y en general, una serie de disposiciones a nivel legal que promueven las actividades de separación en la fuente de los diferentes tipos de residuos, la recolección selectiva de los residuos, la existencia de centros de acopio y el fomento de las actividades propias de la recuperación de los residuos como el reciclaje y el compostaje. Según Garay, particularmente el caso de los plásticos ha sido muy similar a la de cualquier otro material, en donde la falta de separación en la fuente y la gran variedad de plásticos han dificultado la identificación por parte del generador, provocando así problemas posteriores en su selección y posterior tratamiento.

---

<sup>30</sup> MCDUGALL, Forbes. *et al.* Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory. Oxford: Blackwell Science Ltd, UK. 2003. p. 15.

<sup>31</sup> GARAY, Carlos A. *et al.* Guías Ambientales – Sector Plástico. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [electrónico]. 2004. [consultado: 16, enero, 2016] Disponible en: [http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias\\_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/INDUSTRIAL%20Y%20MANUFACTURERO/Guias%20ambientales%20sector%20pl%C3%A1sticos.pdf](http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/INDUSTRIAL%20Y%20MANUFACTURERO/Guias%20ambientales%20sector%20pl%C3%A1sticos.pdf)

Ahora bien, tal como lo describe el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio<sup>32</sup>, el enfoque de la GIRS incluye el desarrollo de procesos de aprovechamiento y valorización de residuos que permite reducir el volumen de residuos en vertederos o rellenos sanitarios y en consecuencia, prolongar su vida útil, recuperar materias primas y generar subproductos nuevos. Dichos procesos están encaminados a la gestión de cualquier material, objeto o sustancia que no tiene valor de uso directo o indirecto para quien lo genere, pero que es susceptible a ser reincorporado a un proceso productivo; este tipo de residuo se le atribuye el calificativo de *aprovechable*.

Para Nielsen<sup>33</sup>, a pesar del hecho que las propiedades como productos principales se ha perdido, los desechos aprovechables continúan teniendo un valor subjetivo asociado al trabajo humano y a la energía utilizada para su producción. De esta manera, este desecho constituye una potencial fuente de materiales secundarios y combustibles. El aprovechamiento es el método más efectivo puesto que no sólo reduce los volúmenes de desecho a disposición final sino que mitiga el agotamiento de recursos naturales resultantes del desarrollo económico.

Algunas formas de aprovechamiento incluyen actividades de reutilización, reciclaje de residuos inorgánicos y los tratamientos para la estabilización de la fracción de residuos sólidos orgánicos biodegradables con fines de valorización agronómica o valorización energética. Por su parte, cabe destacar algunas formas de adecuación para incorporar valor como el lavado, la trituración, el granulado (peletizado), el aglomerado, la compactación y fundición, óxido-reducción térmico, entre otras opciones técnicas y tecnológicas.

No obstante a lo anterior, el aprovechamiento y valorización de los residuos deben realizarse siempre y cuando sean económicamente viables, técnicamente factibles y ambientalmente convenientes. De acuerdo con el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio<sup>34</sup>, una GIRS enfocada en técnicas de aprovechamiento y valorización de residuos debe tener en cuenta que:

---

<sup>32</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F. Sistemas de Aseo Urbano/ Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. Bogotá, D.C. Colombia, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. [electrónico]. 2012. [consultado: 16, julio, 2016] Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAguas/TITULO%20F.pdf>

<sup>33</sup> NIELSEN, Charlene. Recycling: Processes, Costs, and Benefits. New York: Nova Science Publishers, Inc. 2011. p. 15

<sup>34</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F. Sistemas de Aseo Urbano/ Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. Bogotá, D.C. Colombia, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. [electrónico]. 2012. [consultado: 16, julio, 2016] Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAguas/TITULO%20F.pdf>

- Trabajará con materia prima secundaria con valor comercial, la cual se considera insumo como subproducto de otros procesos productivos. Por ende, estará sujeta a las condiciones de oferta y demanda que tenga el mercado.
- La determinación de los residuos aprovechables deberá realizarse en el marco de los planes para la GIRS y la calificación que se otorgue, deberá considerar la existencia de tecnologías de acondicionamiento y transformación que generen valor agregado y un mercado para los productos obtenidos.
- El aprovechamiento de residuos debe integrar a los generadores, los transformadores y los consumidores y promover incentivos e instrumentos económicos considerando el ciclo de vida de los productos.
- Los recicladores de oficio deberán ser reconocidos y vinculados formalmente en las actividades relacionadas con el aprovechamiento y valorización de residuos.

Ahora bien, luego de la revisión bibliográfica realizada, se evidencia ciertos vacíos en cuanto a una regulación del manejo y gestión adecuada de materiales compuestos como los que componen la tubería flexible en estudio. De una parte, concibiendo la tubería plástica como un residuo especial (propio de la industria), el manejo que se entiende debería darse es el descrito por el Decreto 4741 del 2005, en el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral; en el cual se incluye a los residuos especiales dentro del manejo de residuos peligrosos. Sin embargo, no se tiene entendimiento total al respecto, y no se ha podido establecer si efectivamente debe concebirse de esta manera o no; debido a que tampoco existe algún tipo de regulación en Colombia, que permita considerar la tubería flexible en materiales compuestos como un elemento 100% aprovechable y apto para incluirse dentro de las campañas de aprovechamiento de residuos incluidos en los PGIRS.

Por su parte, como es de conocimiento, el desarrollo de las actividades en el sector Oil & Gas siempre ha sido vigilado, supervisado y juzgado con mayor frecuencia y mayor fuerza que cualquier otra industria en el país. Lo anterior, producto de ciertos sucesos y/o prácticas que han puesto a la industria bajo los ojos de autoridades ambientales, gubernamentales y en particular, de entidades ambientalistas con una posición opuesta al desarrollo de la actividad. Es por esto, que muchas de las actividades que se desarrollan en campo han tenido que ser migradas a estándares superiores a los que están establecidas por la normatividad de la industria o local; buscando cumplir lo mínimo requerido legalmente, y adicionalmente, satisfacer y superar las expectativas que se plantean para la industria.

En este sentido, muchas operadoras en Colombia han decidido manejar los residuos sólidos generados de la instalación de la tubería flexible revisando el alcance de sus permisos ambientales y concibiendo el material como un desecho especial. Es así que empresas como Ecopetrol SA, Occidental Andina LLC, Geopark Ltda, entre otras han desarrollado sus planes que básicamente consisten en la revisión de disponibilidad para desechar los residuos en los rellenos de seguridad que algunos campos poseen dentro de sus permisos ambientales, o la posibilidad de pagarle a un tercero, para que ese tercero se encargue de la disposición en un relleno de seguridad o para que deseche los residuos a través de un proceso de incineración.

Sin embargo, es importante aclarar que tanto los procesos de incineración como las actividades de migración de los desechos a rellenos de seguridad, son prácticas que no están justificadas bajo ninguna normatividad ambiental en la que se obligue a realizar dichas actividades, y tampoco se encuentran incluidas en las prácticas recomendadas o en algún instrumento jurídico ambiental que promueva el desarrollo de estas actividades.

Por el contrario, recordando el alcance de las fases que contempla la generación de los residuos de la tubería flexible en materiales compuestos (todos los procesos y actividades después de su fabricación y justo antes de ponerse en funcionamiento una vez instalada), se debe entender que el material no cumple con las características de residuo peligroso, el cual ha sido definido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial a través del Decreto 4741 de 2005 como "...aquel residuo o desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos"<sup>35</sup>. Hasta el momento de su instalación, la tubería flexible ha sido puesta en contacto sólo con agua, fluido utilizado para realizar la prueba hidrostática que permite corroborar que la tubería ha sido instalada correctamente y que el oleoducto, gasoducto y línea de transferencia de agua está listo para entrar en funcionamiento.

Por lo tanto, para dar mayor entendimiento a la gestión actual de los residuos generados en la industria, se describirá brevemente las opciones de disposición a través de un relleno de seguridad y la incineración; pero con la salvedad que de acuerdo con lo descrito anteriormente, la tubería se debe concebir como un material 100% aprovechable y por ende es de vital importancia estudiar estrategias de aprovechamiento de estos residuos que permitan dar un manejo sostenible a la utilización en la industria de estos materiales.

---

<sup>35</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 4741. (30 de diciembre de 2005). Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Diario Oficial No. 46,137. Bogotá. 2005.

### **2.2.1 Relleno de Seguridad**

Según la Procuraduría General de la Nación<sup>36</sup> los rellenos y/o celdas de seguridad son instalaciones de disposición final para residuos reconocidos como peligrosos. Corresponde a la construcción y la operación de estos sistemas de almacenamiento aislar del ambiente este tipo de residuos, así como garantizar las condiciones sanitarias adecuadas para el ser humano y su entorno.

Se requieren algunas características claves para la construcción de un relleno sanitario, las cuales son, seguridad del sitio donde se va a instalar, el nivel del manto acuífero, el acceso de transporte y las proyecciones del terreno según ordenamiento territorial. Según la Procuraduría General de la Nación<sup>37</sup>, se debe tener en cuenta lo antes mencionado para el desecho de los residuos peligrosos en rellenos de seguridad en aras de mitigar su grado de peligrosidad, con el fin de minimizar el impacto social – ambiental, incluyendo pre tratamientos químicos.

Según Weber<sup>38</sup>, el diseño de un relleno de seguridad debe tener como prioridad mitigar el impacto del lixiviado, ya que estos fluidos provenientes de los residuos contienen altas sustancias contaminantes. Los rellenos tienen como fin almacenar desechos que no puedan ser reciclados, y no exista otra manera de desechar el residuo. Durante el diseño de un relleno de seguridad es importante tener en cuenta las barreras múltiples para cumplir con lo antes mencionado, pre tratamiento de los residuos, aislamiento de residuos y barrera geológica. La primera determina la prevención del ingreso de residuos al relleno a través del reciclaje, incineración e inmovilización de residuos; la segunda de los materiales sintéticos utilizados como impermeabilizantes entre los desechos y el ambiente; y el tercero es la barrera geológica que puede estar naturalmente dispuesta o sea necesario acondicionarla, normalmente material arcilloso.

### **2.2.2 Proceso de Incineración**

La incineración consiste en la eliminación por quema controlada de los residuos peligrosos, cumpliendo con las normas de emisión de gases tóxicos vigentes. De acuerdo con la Procuraduría General de la Nación<sup>39</sup> los incineradores de residuos

---

<sup>36</sup> PROCURADURÍA GENERAL DE LA NACIÓN. Rellenos y/o Celdas de Seguridad y Sistemas de Incineración y Autoclave. Circular No. 16 del 22 de junio de 2011.

<sup>37</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 4741. (30 de diciembre de 2005). Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Diario Oficial No. 46,137. Bogotá. 2005. 2.

<sup>38</sup> WEBER, Carlos. *et al.* Ambiente Ecológico. Revista Educación Ambiental No. 54, Guía 54. Gobierno de Chile. Diciembre 2004. p 2.

<sup>39</sup> PROCURADURÍA GENERAL DE LA NACIÓN. Rellenos y/o Celdas de Seguridad y Sistemas de Incineración y Autoclave. Circular No. 16 del 22 de junio de 2011.

peligrosos tanto las autoridades como los generadores deberán cumplir de manera estricta con el “Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas”. Es obligación de las autoridades velar por la veracidad y calidad de las pruebas tomadas, garantizando un adecuado monitoreo y control.

Teniendo en cuenta la importancia de esta actividad para evitar desechar residuos peligrosos en rellenos de seguridad se debe tener en cuenta la legislación colombiana para su ejecución, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial bajo la Resolución 909 del 5 de julio de 2008, establece los estándares de emisiones admisibles de contaminantes al aire para fuentes fijas, la **Tabla 3** resume los límites de emisiones contaminantes a partir de fuentes fijas establecida por la resolución 909:

**Tabla 3.** Estándares de emisión admisible de contaminantes al aire para actividades industriales a cond. de referencia (25 °C y 760 mm Hg) con O<sub>2</sub> de referencia del 11%.

Contaminante	Flujo del Contaminante (Kg/h)	Estándares de emisión admisibles de contaminante (mg/m <sup>3</sup> )	
		Actividades indust. existentes	Actividades indust. nuevas
Material Particulado (MP)	≤ 0.5	250	150
	> 0.5	150	50
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	Todos	550	500
Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	Todos	550	500
Comp. de Flúor Inorgánico (HF)	Todos	8	
Comp. de Cloro Inorgánico (HCl)	Todos	40	
Hidrocarburos Totales (HC)	Todos	50	
Dioxinas y Furanos	Todos	0.5	
Neblina Acida	Todos	150	
Plomo (Pb)	Todos	1	
Cadmio (Cd) y sus compuestos	Todos	1	
Cobre (Cu) y sus compuestos	Todos	8	

**Fuente:** COLOMBIA. Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial. Resolución 909 (5 de junio de 2008). Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial 47,051. Bogotá. 2008 .

En esta tabla se establecen las admisiones máximas permitas por la legislación colombiana al momento de incinerar residuos peligrosos. Las instalaciones de

incineración están diseñadas para destruir el componente orgánico, pero tal como lo describe Elias<sup>40</sup>, en muchas ocasiones junto al residuo entra compuesto inerte que no va a destruirse y en todo caso se transmite o se emite como gases, como acontece con los metales pesados. De igual forma afirma que otro tipo de compuesto se origina por una mala combustión, como es el caso del monóxido de carbono o parte del carbono total. No obstante, hay otros gases como el SOx que se emiten por oxidación de los compuestos sulfurosos. Finalmente, los gases ácidos, como el HCl, HF, así como el SOx se abaten con lechada de cal.

### **2.2.3 Análisis del Ciclo de Vida del producto en la gestión actual**

Para cualquier industria es primordial conocer el ciclo de vida que poseen sus productos, dado que se busca que el producto sea satisfactorio para la inversión realizada para su realización, por este motivo es importante conocer en qué consiste el ciclo de vida de un material de la industria. Para Sevigné<sup>41</sup>, el ciclo de vida de un producto como “una metodología que permite sistematizar la adquisición y generación de información para establecer criterios objetivos en la toma de decisiones hacia un desarrollo sostenible. Además, esta herramienta permite detectar de forma eficaz las oportunidades de mejora de todo el sistema, no limitándose únicamente a la instalación objeto de estudio, sino ampliando el análisis en etapas anteriores y posteriores”.

Adicionalmente, de acuerdo con Sevigné<sup>42</sup>, esta cita es fundamental para la definición de ciclo de vida, puesto que explica el proceso sistematizado orientado al ciclo de vida de los residuos, y expone que en el proceso están contempladas todas las fases tanto anteriores como posteriores. Por otra parte, es de importancia resaltar que para el año 1960 la primera definición aceptada de manera universal por la Sociedad de Química y Toxicología Medioambiental, quienes argumentaron que el ciclo de vida de un residuo sólido es un proceso objetivo cuyo fin consiste en evaluar las cargas ambientales asociadas a un determinado producto.

000

Este procedimiento consta de varias pautas que se deben realizar en el ciclo de vida de un residuo: actividad de cuantificación e identificación del uso de materia de energía y emisiones liberadas al medio ambiente, la segunda pauta consta en analizar el impacto de los usos de materias y emisiones liberadas, la tercera pauta

---

<sup>40</sup> ELIAS, Xavier. Emisiones a la atmosfera y correcciones: Tipos de hornos. Organización Panamericana de la Salud Organización Mundial de la Salud. 2010. [consultado: 04, diciembre, 2016] Disponible en: [http://www.bvsde.paho.org/cursoa\\_reas/e/fulltext/Ponencias-ID55.pdf](http://www.bvsde.paho.org/cursoa_reas/e/fulltext/Ponencias-ID55.pdf)

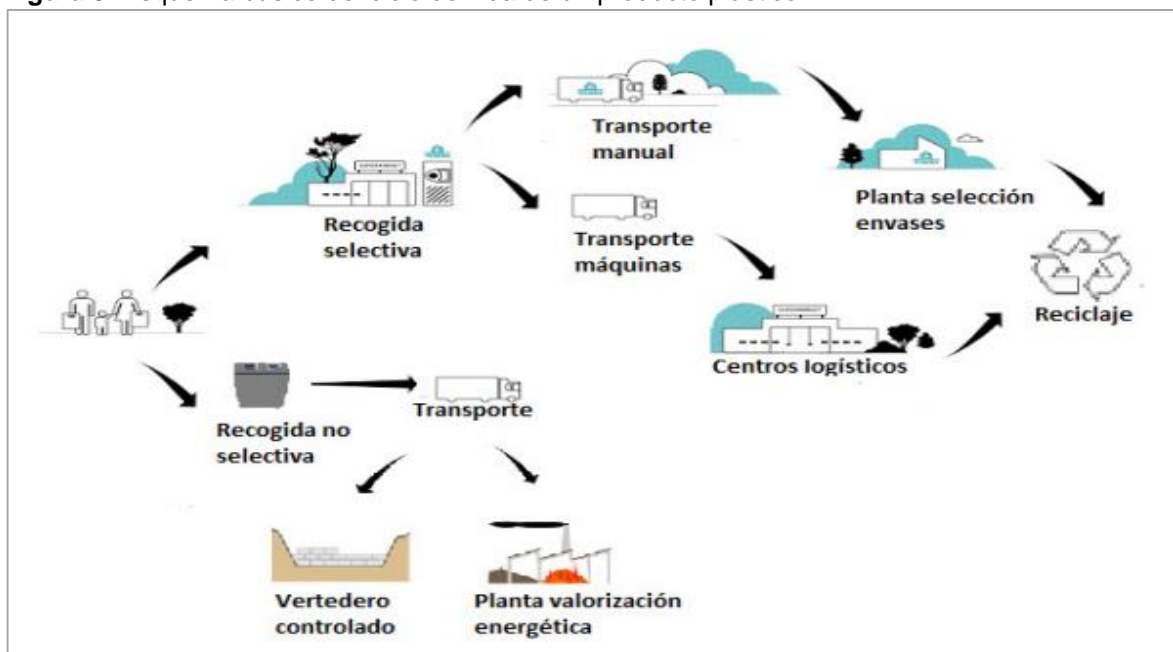
<sup>41</sup> SEVIGNÉ, Itoiz. Análisis de Ciclo de Vida de la gestión de residuos de envases de PET, latas y bricks mediante SIG y SDDR en España, 2011. p. 7.

<sup>42</sup> Ibid., p. 7.

da cuenta de llevar a cabo estrategias para reducir el impacto de dichas sustancias y materiales en el medio ambiente.

Para incorporar dichas estrategias en el medio ambiente es necesario saber que el ciclo inicia desde la extracción de materias primas, hasta la reutilización, manejo reciclaje y disposición final del material tratado. Particularmente para el plástico, la **Figura 9** muestra las etapas del proceso de ciclo de vida de un producto, contemplando las actividades previas a la creación y prolongación del material. De allí es importante reconocer los actores, y las responsabilidades que llevan cada uno de ellos.

**Figura 9.** Esquema básico del ciclo de vida de un producto plástico.



**Fuente:** SEVIGNÉ, Itoiz. Análisis de Ciclo de Vida de la gestión de residuos de envases de PET, latas y bricks mediante SIG y SDDR en España, 2011. p 7.



### **3. MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE TUBERIA FLEXIBLE EN MATERIALES COMPUESTOS**

Este capítulo desarrolla en la primera fase, la composición de los plásticos, sus características principales, y la clasificación; describe la importancia del óptimo manejo de los residuos sólidos poliméricos y el proceso de gestión de desechos de este material. Con el fin de conocer cómo es el proceso durante estas prácticas y la repercusión que esto puede generar en el medio ambiente. En la segunda parte del capítulo, se plantean posibles oportunidades de aprovechamiento que pueden tener los residuos de tubería flexible en la industria petrolera. Finalmente, la tercera fase del capítulo, contiene las posibilidades de reutilización contempladas para la tubería y complementadas con opciones por cada material que compone la tubería flexible.

#### **3.1 CONCEPTO DE PLÁSTICO COMO RESIDUO APROVECHABLE**

Para revisar y estudiar las posibles alternativas de manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos generados por la construcción de oleoducto, gasoductos y líneas de transferencia con tubería flexible, es importante reconocer y acercar los residuos al concepto de plástico, el cual permitirá evidenciar las prácticas de aprovechamiento actual de este último material y permitirá proponer las practicas propias que se pueden aplicar para la tubería.

En este sentido, los plásticos, como se ha definido con anterioridad están compuestos por un conjunto de diversas sustancias y materiales. Según el Sistema de Información Ambiental, Minero Energético<sup>43(\*)</sup> (en adelante SIAME), la palabra plástico debe entenderse como un término genérico que describe una gran variedad de sustancias, se diferencian por su estructura, propiedades y composición. Las propiedades de los plásticos son tantas y tan variadas que pueden sustituir materiales convencionales como madera y metales; para la SIAME están conformados por largas cadenas macromoleculares que contienen en su estructura carbono e hidrógeno; se obtienen mediante reacciones químicas entre diferentes materias primas de origen sintético o natural. Dependiendo de la estructura que forma el carbono al asociarse con hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, cambian las propiedades físicas y su estructura molecular.

Los plásticos o polímeros se dividen en termoestables, es decir adoptan una forma permanente al aplicarles calor y presión; los termoplásticos, que son materiales

---

<sup>43</sup> SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL MINERO ENERGÉTICO – SIAME. Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica, y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Guías Ambientales. 2004. p.14.

(\*) SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL, MINERO ENERGÉTICO, en adelante será nombrado por sus siglas, SIAME.

que se ablandan al ser calentados y se endurecen al enfriarse; y elastómeros que son materiales que al aplicarles presión y fuerza tienen una gran elasticidad.

Para Téllez<sup>44</sup>, la clasificación de los residuos plásticos, es una etapa importante en la gestión de reutilización y aprovechamiento de los polímeros. Sin embargo, es primordial tener en cuenta que no todos los plásticos son reciclables, algunos contienen sustancias tóxicas que impiden la reutilización del material.

Las tuberías flexibles hacen parte de los termoplásticos, ya que su composición química consta de algunos polímeros que posee la tubería como el polietileno de alta densidad, poliéster, fibra de poliestireno, poliamida, polipropileno, sulfuro de polietileno y fibra de aramida. Estos compuestos están contemplados en los materiales termoplásticos, por tanto pueden ser reciclados de forma individual y utilizados para diversos materiales.

El **Cuadro 4** clasifica los termoplásticos, a partir de sus componentes químicos, (tipo de plástico), menciona los productos iniciales y los materiales elaborados, luego de la gestión de recuperación.

---

<sup>44</sup> TÉLLEZ, Alejandra. La Complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá. Bogotá. 2014. p 29.

**Cuadro 4.** Esquema básico de recuperación de termoplásticos según tipo.

Código SPI	Tipo de Plástico	Productos	Subproductos con material recuperado
1 PET	Poliétileno Tereftalato	Botellas de bebidas.	Tejas. Escobas. Fibras para la fabricación de hijos.
2 HPDE	Poliétileno de Alta Densidad	Envases. Canastas de bebidas y alimentos. Bolsas resistentes. Balde. Plato de comida para mascotas.	Canastas de bebidas. Materas. Envases. Mangueras.
3 PVC	Policloruro de Vinilo	Tubos de PVC. Tarjetas de crédito y débito. Envases de aceite.	Llaveros. Señalización de vías. Mangueras.
4 LPDE	Poliétileno de Baja Densidad	Empaques. Invernaderos. Material de Embalaje.	Bolsas para la basura. Mangueras.
5 PP	Polipropileno	Paquetes de Pasabocas. Esferos. Cepillos. Pitillos.	Muebles. Hebillas para el pelo. Ganchos para colgar.
6 PS	Poliestireno	Empaque de Alpinito. Alpinette. Cubiertos desechables.	Tejas. Cintas de Empacado. Balacas. Pulseras.
6 PS	Poliestireno Expandido	Empaque de icopor.	-
7 OTROS	Otros	Botellón de agua. Biberones. Cascaras para electrodomésticos.	Hebillas para el pelo.

**Fuente:** GARAY, Carlos. Un acercamiento a los plásticos. Publicación de la Asociación colombiana de Industrias Plásticas –Acoplasticos-. Agora Editores. Bogotá. 1999. p 23.

### 3.2 IMPORTANCIA DE UN PLAN DE MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS PLÁSTICOS

Los plásticos dan importantes beneficios a la sociedad, son utilizados para diversos oficios que requiere el hombre. Sin embargo en los últimos años se ha dado un aumento desmedido de este material, provocando innumerables

desechos, que alteran el medio ambiente. Según Hopewell<sup>45</sup>, Alrededor del 4% del petróleo mundial y la producción del gas, un recurso no renovable, se utiliza como materia prima para plásticos, y otro 3.4%, se gasta para proporcionar energía en la fabricación. Una parte del plástico producido cada año, se utiliza para fabricar artículos desechables, envases, u otros productos de corta vida que se desechan al año de su fabricación. La producción de plástico, ha incrementado en los últimos 60 años, los niveles actuales de su uso y de eliminación están generando un impacto ambiental.

Debido a la durabilidad de los polímeros, cantidades considerables de plástico se acumulan como desechos en los vertederos, y en los hábitats naturales en todo el mundo. Uno de los hábitats más afectados por este problema, han sido los océanos, puesto que los desechos sólidos están alterando el equilibrio natural del ecosistema acuático.

Tal como lo expresa Allsopp<sup>46</sup>, los materiales sintéticos y plásticos, son los tipos más comunes de desechos marinos y son altamente peligrosos para los animales acuáticos y aves. Se conocen alrededor de 267 especies que han sufrido enredos o ingestión de desechos, incluyendo aves marinas, tortugas, focas, lobos marinos, ballenas y peces. Con el paso del tiempo la acumulación de desechos en el medio oceánico ha estado en aumento, Allsopp argumenta que los desechos plásticos provienen de una amplia y diversa gama de fuentes y gran parte de los desechos plásticos que terminan en el mar son originados en la tierra.

Dado este fenómeno ambiental y las características particulares de cada tipo de residuo originado, los países se han visto en la necesidad de divulgar reglamentaciones para controlar la producción de estos materiales y buscar alternativas para la reutilización. En Colombia, El Ministerio de Ambiente es la entidad encargada de realizar políticas ambientales para la gestión de residuos sólidos, implementando programas de recolección de desechos, (Resolución 693 de 2007, Resolución 372 de 2009, Resolución 0371 de 2009, Resolución 1297 de 2010, Resolución 1457 de 2010, Resolución 1512 de 2010, Resolución 1297 de 2010, Resolución 1511 de 2010, Resolución 0361 de 2011).

Según el SIAME<sup>47</sup>, afirma que en Colombia hay un impacto ambiental por la disposición final de los residuos plásticos, dado que en varios municipios del país, se arrojan los desechos a cielo abierto, esta problemática radica por la

---

<sup>45</sup> HOPEWELL, J., Dvorak, R. & Kosior, E. Plastics recycling: challenges and opportunities. Philosophical Transactions. Biological Sciences. 2009. p 1.

<sup>46</sup> ALLSOPP, M., Walters, A., Santillo, D. & Johnston. Plastic Debris in the World's Oceans. Greenpeace. 2006. p 9.

<sup>47</sup> SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL MINERO ENERGÉTICO – SIAME. Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica, y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Guías Ambientales. 2004. p.14.

insuficiencia de tecnologías aplicadas al tratamiento de estos materiales, la ausencia de empresas de aseo consolidadas que proporcionen en los municipios alternativas del manejo de residuos sólidos, escasez en recursos financieros por parte de los municipios, los costos de recolección, el transporte de los residuos y el desconocimiento de los individuos en el manejo adecuado de los residuos sólidos.

A raíz de este problema ambiental, Colombia ha diseñado diversas estrategias, cuyo fin sea mitigar la problemática de los residuos sólidos, por tanto se han creado cadenas de alternativas de aprovechamiento de residuos. Sin embargo han surgido diferentes variables que han traído como consecuencia el replanteamiento de las estrategias, ya que en el país, hay un problema interdisciplinar, es decir, una serie de factores sociales, culturales y económicos que influyen en el aprovechamiento de los residuos.

Los factores sociales, culturales y económicos, se originan debido a la escasa cultura instaurada por las instituciones a los ciudadanos, para la adecuada clasificación del material residual. Asimismo, hay insuficiencia en el manejo de procesos de recolección, acumulación y transporte para los residuos. Las alternativas tecnológicas que busca implementar el Ministerio de Ambiente son solo un comienzo a un problema que demanda una solución mayor. Según Garay<sup>48</sup>, aseguran que en Colombia, la tecnología más utilizada para el aprovechamiento de los residuos plásticos es el reciclaje mecánico. Sin embargo estas técnicas resultan insuficientes para el aprovechamiento de residuos sólidos, por este motivo es fundamental realizar un análisis interdisciplinar para tener una estrategia que mitigue el daño que se genera a diario en el medio ambiente.

Los residuos generados por las actividades humanas, han provocado varios desperdicios, que se han incrementado al pasar los años. Tal como afirma Llanos<sup>49</sup>, en 1996, la producción anual de plásticos en el mundo, llegaba a 150 millones de toneladas, con un promedio de consumo per cápita en los países desarrollados de 80 a 100 kilos por año; en Colombia la producción de plásticos está en aumento. Este fenómeno ha generado la necesidad de crear estrategias para mitigar su impacto en el medio ambiente y buscar alternativas para reutilizar los desperdicios que deja el hombre.

Como lo expresa Washco<sup>50</sup>, la mayoría de materiales que llegaron al final de su vida útil pueden ser usados nuevamente. En este orden de ideas es fundamental

---

<sup>48</sup> GARAY, C. Guías para el sector de plástico. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá. 2004. p 20.

<sup>49</sup> LLANOS, Gustavo, Biodegradación de poliuretano residual por fermentación en estado sólido, Medellín, 2009. p 1.

<sup>50</sup> WASHCO, Adrián, La reutilización de elementos plásticos reciclables como un giro estético ante la contaminación, Cuenca. 2010. p 5.

exponer en qué consisten las alternativas de aprovechamiento de residuos sólidos poliméricos, sus técnicas de reciclaje y la importancia de estos métodos para reducir los impactos generados en el medio ambiente.

### 3.3 MÉTODOS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS

Debido al impacto ambiental que han tenido los residuos sólidos poliméricos en el mundo, se han desarrollado diversas técnicas para la recuperación de residuos plásticos, sin embargo por cuestiones sociales, económicas, y culturales, unas técnicas se han utilizado más que otras. Los métodos de aprovechamiento más utilizados para los residuos plásticos son: la incineración, el compostaje y el reciclaje.

#### a. Incineración

Como ya fue descrito en el capítulo anterior, la incineración se utiliza como tratamiento para una amplia gama de residuos sólidos. De acuerdo con El Ministerio de Medio Ambiente de España<sup>51</sup>, el objetivo de la incineración es tratar los residuos, con el fin de reducir su volumen y peligrosidad, destruyendo sustancias potencialmente nocivas que se emiten, o que se puedan emitir, durante la incineración. De acuerdo con esto, este proceso posee tres etapas:

- *Secado y desgasado*: durante esta etapa se desprende el contenido volátil (como hidrocarburos y agua) a temperaturas generalmente entre 100 y 300°C. El proceso MTD Incineración de Residuos 2 de secado y desgasado no requiere ningún agente oxidante y sólo depende del calor aportado.
- *Pirólisis y gasificación*: la pirólisis es la descomposición ulterior de las sustancias orgánicas, en ausencia de un agente oxidante a unos 250-700°C. La gasificación de los residuos carbonados es la reacción de los residuos con vapor de agua y CO<sub>2</sub> a temperaturas que normalmente están entre 500 y 1000°C, pero puede producirse a temperaturas de hasta 1600°C. Con ello se transfiere materia orgánica sólida a la fase gaseosa. Además de la temperatura, esta reacción se ve apoyada por agua, vapor y oxígeno.
- *Oxidación*: los gases combustibles creados en las etapas anteriores se oxidan, según el método de incineración seleccionado, a temperaturas de gases de combustión que generalmente están entre 800 y 1450°C.

Estas etapas individuales generalmente se superponen, lo que significa que la separación espacial y temporal de estas etapas durante la incineración de residuos sólo es posible en un grado limitado. El método de incineración es uno de

---

<sup>51</sup> ESPAÑA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, RURAL Y MARINO. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration. 2011. p. 8.

medios en los cuales se puede tratar el material residual, tal como lo muestra el **Cuadro 5**, dependiendo la finalidad que se quiera llevar a cabo con ese material, entonces se desarrolla una estrategia para su incineración.

**Cuadro 5.** Herramientas de incineración para diferentes componentes residuales.

Objetivo	Herramienta
Destrucción de sustancias orgánicas.	Horno
Evaporación de agua.	Horno
Evaporación de sales inorgánicas y metales pesados volátiles.	Horno
Producción de escoria potencialmente explotable.	Horno
Reducción del volumen de residuos.	Horno
Recuperación de energía aprovechable.	Sistema de recuperación de energía
Eliminación y concentración de materia inorgánica y metales pesados volátiles en residuos sólidos, como residuos de limpieza de gases de combustión o lodo del tratamiento de aguas residuales.	Sistema de limpieza de los gases de combustión
Minimización de las emisiones a todos los medios.	Sistema de limpieza de los gases de combustión

**Fuente:** ESPAÑA. Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration. 2011. p. 8.

## b. Reciclaje

El reciclaje es otra alternativa para tratar los residuos sólidos, según Washco<sup>52</sup> el reciclaje es uno de los métodos de aprovechamiento de residuos más aprovechado en el mercado y consiste en someter un producto ya utilizado a un proceso de transformación de materia prima, para la creación de otro material.

Como lo afirma Arandez<sup>53</sup>, hay cuatro métodos de reciclaje que se pueden llevar a cabo con los residuos sólidos poliméricos:

- *Reciclado primario o mecánico:* Consiste en operaciones mecánicas para obtener un producto de similares características que el producto original. Este método es utilizado para el aprovechamiento de recortes de las plantas de

<sup>52</sup> WASHCO, Adrián. La reutilización de elementos plásticos reciclables como un giro estético ante la contaminación, Cuenca. 2010. p 6.

<sup>53</sup> ARANDEZ, J. Reciclado de Residuos Plásticos. Revista Iberoamericana de Polímeros. Volumen 5(1). 2004. p 4.

producción y transformación, y corresponde a un porcentaje muy reducido, llamado residuos plásticos.

- **Reciclado secundario:** Es una fusión, los desechos son convertidos en productos de diferentes formas, y con mayor espectro de aplicaciones, las cuales son diferentes a las del plástico original en un proceso evolutivo "en cascada" hacia prestaciones inferiores. Esta es la tecnología más usada hasta ahora, particularmente en la industria del automóvil, y se estima en sólo el 20% los plásticos que pueden ser reciclados de esta forma.
- *Reciclado terciario o reciclado químico:* Busca el aprovechamiento integral de los elementos constitutivos del plástico, por transformación del mismo en hidrocarburos, los cuales pueden ser materias primas integrables bien nuevamente en la ruta de obtención de plásticos o en otras rutas de la industria petroquímica. Los métodos pueden ser químicos o térmicos, dependiendo del tipo de polímero.
- *Reciclado cuaternario:* Consiste en la incineración para recuperar energía. Actualmente es debatido por los problemas medioambientales que genera.

Para la SIAME<sup>54</sup>, en Colombia el método más usada para reutilizar residuos plásticos, es el reciclaje mecánico, tal como lo afirman en su Guía Ambiental del Sector Plástico. En él se afirma que en el país, la tecnología más utilizada para el aprovechamiento de los residuos plásticos es el reciclaje mecánico y en una proporción no muy grande, se están dando experiencias en el reciclaje químico, se está evaluando la incineración con recuperación de energía para el manejo de algunos empaques y envases plásticos contaminados con agroquímicos.

El proceso de reciclaje de Plásticos mecánico, consiste en una serie de pasos en los que se clasifica el tipo de plástico y de acuerdo con la clasificación, los polímeros se someten a un protocolo en relación a la categoría que pertenezca. Si hace parte de un LPDE, entonces tendrá que pasar por el lavado, secado y aglomerado para ser reutilizado; pero si hace parte de PET, HDPE, PP, PS, PVC, entonces tendrá un proceso diverso, como lo muestra la **Figura 10**.

El reciclado mecánico, tiene un sistema de codificación de envases plásticos internacional que consiste según La Guía Ambiental del Sector Plástico, en un esquema que ayuda a la identificación de los envases, botellas, contenedores y recipientes en general, para conocer el tipo de material plástico usado para su fabricación. Esto facilita la selección, recuperación, y reciclaje de las diferentes resinas y compuestos plásticos y permite disminuir la cantidad de materiales que

---

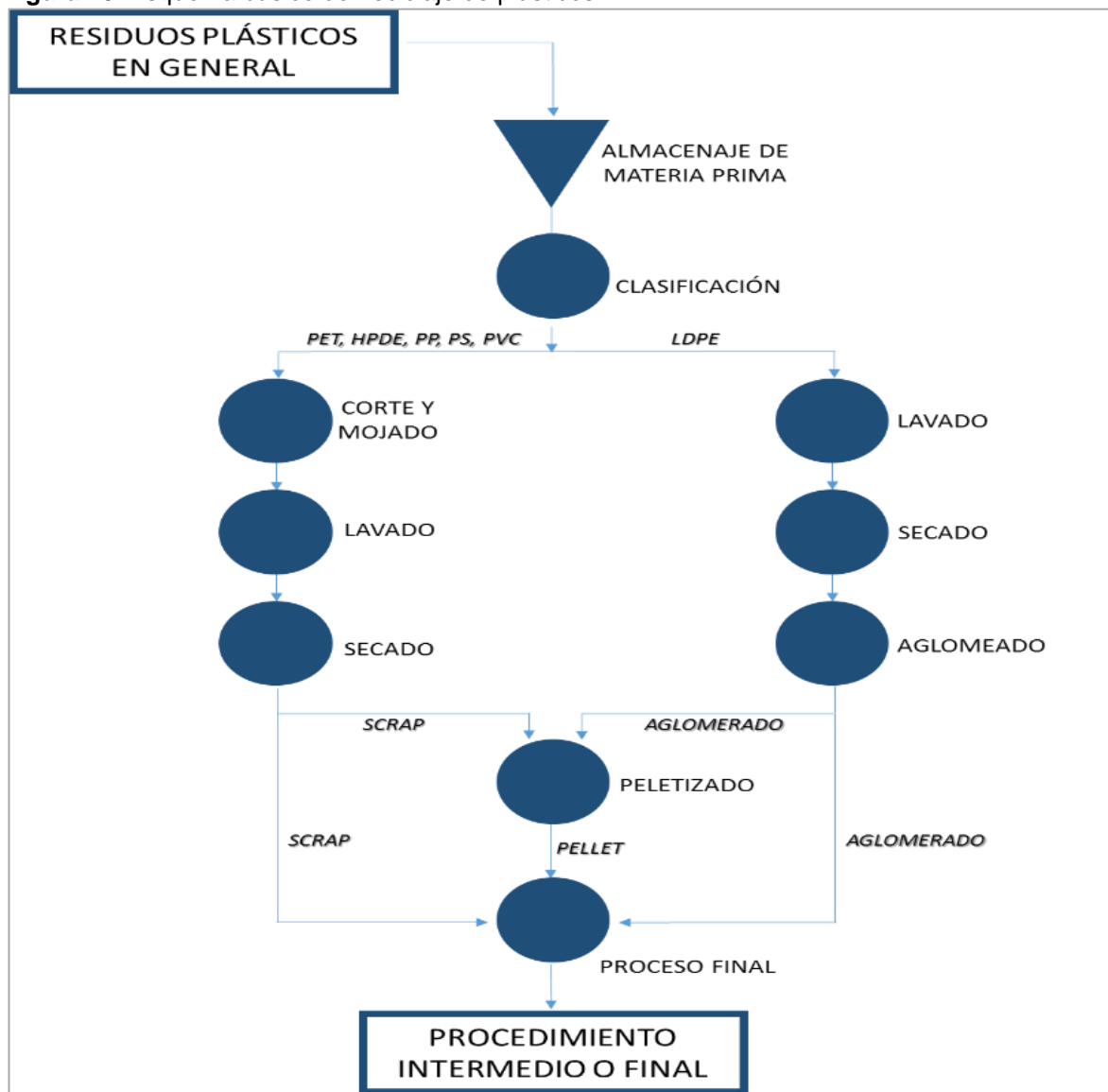
<sup>54</sup> SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL MINERO ENERGÉTICO – SIAME. Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica, y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Guías Ambientales. 2004. p. 20.



se incineran o se desechan en rellenos sanitarios y este oficio genera empleo a través de la industria de recuperación.

Asimismo, La guía Ambiental del Sector Plástico, explica que el símbolo universal del reciclaje se compone de tres flechas que forman un triángulo con un número en el centro y letras en la base, donde el número y las letras indican la resina usada. El sistema de símbolos utilizado lleva a una fácil identificación de las diferentes resinas plásticas presentes en los envases, los cuales, al ser reciclados, pueden transformarse en artículos para otras aplicaciones de uso durable, con todos los beneficios que esto conlleva.

**Figura 10.** Esquema básico del reciclaje de plásticos.



**Fuente:** TÁVARA, Raúl. Propuesta de Reciclaje Mecánico de Plásticos en la Ciudad de Piura. Repositorio Institucional PRIHUA – Universidad de Piura. Perú. 2004. p 38.

El **Cuadro 6**, contiene el sistema de clasificación de polímeros, identifica a través del número en el centro y de las letras, las características del plástico, para otras aplicaciones que este material pueda tener. De acuerdo con La Guía de ambiente del sector Plástico, a través de este sistema, la industria de plásticos demuestra su compromiso con la protección del medio ambiente y establece una acción concreta para educar a los usuarios y contribuir a la solución del manejo de residuos sólidos.

**Cuadro 6.** Sistema de codificación de envases plásticos

Tereftalato de Polietileno PET	Polietileno de alta densidad PEAD	Policloruro de vinilo PVC	Polietileno de baja densidad PEBD	Polipropileno PP	Poliestireno PS	Otros
						

**Fuente:** SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL MINERO ENERGÉTICO – SIAME. Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica, y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Guías Ambientales. 2004. p. 22.

En la actualidad se están implementando nuevas formas para reutilizar los materiales plásticos, existen alternativas biodegradables para la recuperación de residuos plásticos, tal como afirma Téllez<sup>55</sup>, estas alternativas fueron diseñadas con el objetivo de acelerar su proceso de degradación. La biodegradación consiste en degradar el material polimérico por medio de hongos, bacterias y otros microorganismos, para obtener dióxido de carbono, metano, compuestos inorgánicos, agua y biomasa.

Para Canción<sup>56</sup>, esta tecnología ha contribuido al avance para la recuperación de residuos plásticos, argumentando que recientemente, se ha hecho un progreso significativo en el desarrollo de plásticos biodegradables, gran parte de los recursos naturales renovables son utilizados para producir materiales biodegradables cuya funcionalidad sea similar a la de los polímeros a base de aceite.

La expansión de estos materiales de origen biológico tiene varias ventajas potenciales para los balances de gases del efecto invernadero y otros impactos ambientales a lo largo de toda la vida, y los ciclos en el uso de las energías renovables, en lugar de recursos finitos. El uso de materiales biodegradables contribuirá a la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental asociado con la eliminación de los polímeros a base de aceite.

<sup>55</sup> TÉLLEZ, Alejandra. La Complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá. Bogotá. 2014. p. 30.

<sup>56</sup> CANSIÓN, J. *et al.* Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. Philosophical Transactions. Biological Sciences. 2009. p 2.

Según Téllez<sup>57</sup>, los productos biodegradables más conocidos, son los oxo-biodegradables, son productos que tienen como fin la introducción de metales (cobalto, manganeso, magnesio, hierro, zinc, entre otros) que fomenta la oxidación y rompe la cadena del plástico cuando se expone al calor, aire o luz. Al romper la cadena los microorganismos encontrados en los sitios de disposición final se alimentarán del material.

Para los rellenos no se ha presentado datos que soporten una completa biodegradación en ambientes anaeróbicos. En condiciones áridas con exposición al calor y luz solar, los aditivos oxo-biodegradables aceleran la fragmentación tradicional de los polímeros. Sin embargo, la fragmentación no es señal de biodegradación y no hay datos que muestren por cuánto tiempo los fragmentos se mantienen en los suelos o en el agua.

Las materias biodegradables, poseen una clasificación de acuerdo con su composición. Así lo afirma Canción<sup>58</sup>, dependiendo de su origen, pueden clasificarse como base biológica o basados en petroquímica. Los primeros son en su mayoría son biodegradables, ya que son producidos a partir de orígenes naturales como plantas, animales o microorganismos. Los BDPs, basados en petroquímicos como poliésteres, poliésteres aromáticos, y polialcohol de vinilo, se producen a partir de monómeros derivados del refinado de contenidos petroquímicos y poseen ciertos grados de biodegradabilidad inherente.

Esta clasificación se diferencia entre los recursos renovables (basado en bio) y no renovables (basados en petroquímicos), pero hay que señalar que muchas formulaciones comerciales de BDP combinan materiales de ambas clases para reducir el coste o mejorar el rendimiento, afirman los autores.

En la parte económica, el precio de los biopolímeros plásticos es mayor a la de los plásticos convencionales, siendo esto una restricción económica para su uso, generando que tanto las empresas como individuos, prefieran utilizar los plásticos convencionales debido a su costo, por lo tanto esta tecnología no resulta viable llevarla a cabo, ya que económicamente no es rentable.

### **3.4 CONCEPTO DE PRODUCCIÓN Y CONSUMO SOSTENIBLE**

De acuerdo con McDougal<sup>59</sup>, es frecuente que conceptos como “*reducción de residuos*”, “*minimización de residuos*” o “*reducción en la fuente*” sean usualmente

---

<sup>57</sup> TELLEZ. Op. Cit. p 30.

<sup>58</sup> CANCIÓN, J. *et al.* Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. Philosophical Transactions. Biological Sciences. 2009. p 5.

<sup>59</sup> MCDUGALL, Forbes. *et al.* Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory. Oxford: Blackwell Science Ltd, UK. 2003. p. 16

involucrados jerárquicamente en la cima de las actividades de la GIRS. Pero en realidad, contrariamente a lo pensado, la reducción en la fuente es un precursor necesario para una efectiva gestión, en lugar de ser parte de ella. Reducción en la fuente afectará el volumen a ser manejado, y en cierta medida, la naturaleza del material, pero habrá todavía sólidos que disponer y manejar. Por lo que dos (2) conceptos más se incorporan en la dinámica de aprovechamiento de residuos: sostenibilidad y ciclo de vida del producto.

La **Figura 11** presenta el esquema básico para entender la dinámica de generación de residuos, el rol de la prevención de generación en la fuente y en contraparte, el rol de la GIRS. En los esquemas, el estudio de ciclo de vida está enmarcado en línea punteada; las materias primas y la energía necesaria en el sistema se ilustran como son obtenidas del medio ambiente, mientras las emisiones (incluidas los desechos sólidos) salen del sistema y entran al medio ambiente.

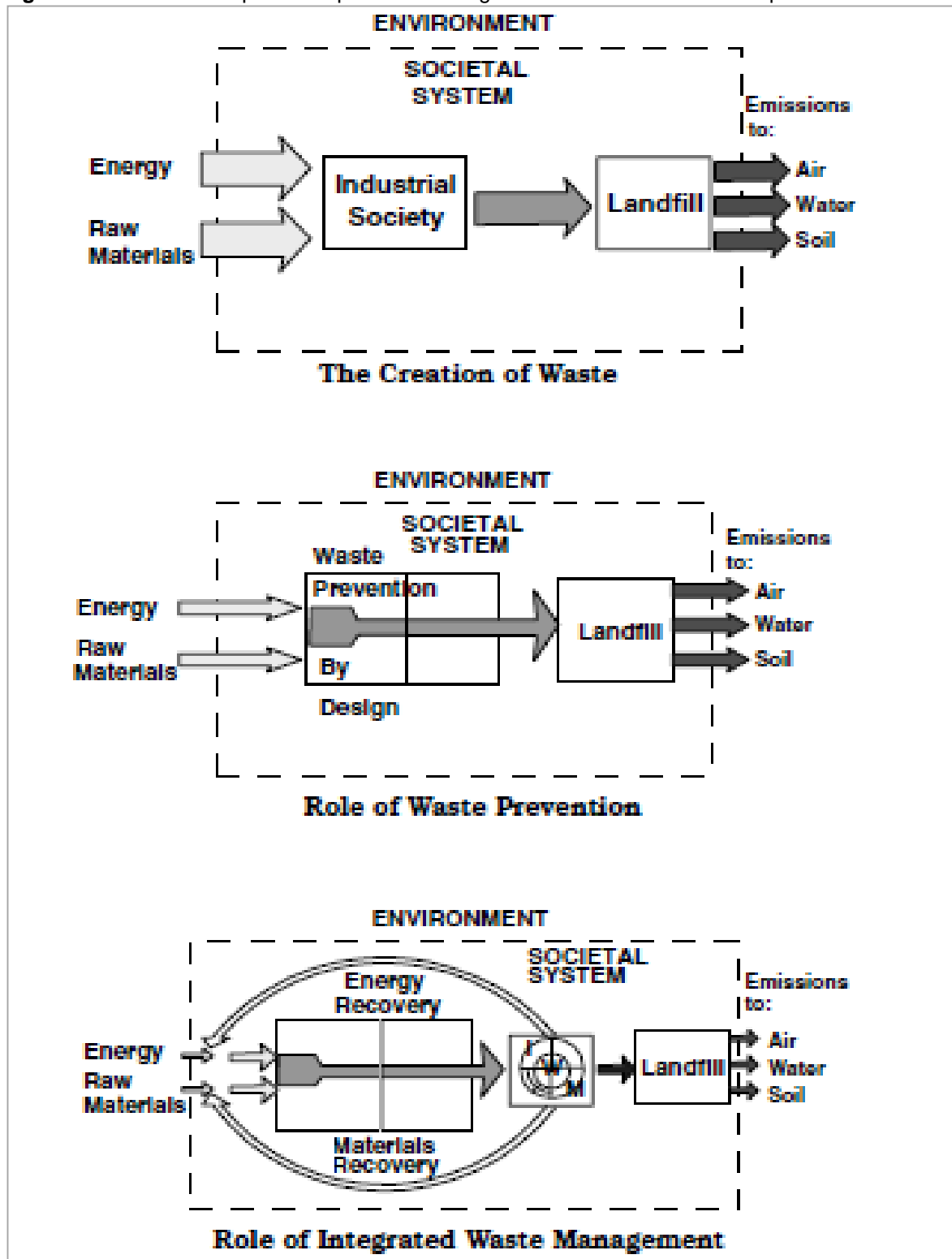
Para McDougal<sup>60</sup>, la inclusión del concepto de sostenibilidad proviene de la necesidad en que los sistemas de GIRS de garantizar la salud y la seguridad humana. Estos sistemas deben ser seguros para los trabajadores y además deben garantizar la salud pública mediante la prevención de la propagación de enfermedades; adicionalmente a estos prerrequisitos, un sistema para considerarse sostenible, debe entre otras cosas ser:

- **Ambientalmente efectivo:** el sistema de GIRS debe reducir tanto como sea posible las cargas ambientales de la gestión propia de residuos (emisiones al aire, tierra y agua, tales como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, DBO, DQO y metales pesados).
- **Económicamente asequible:** el sistema de GIRS también debe operar a un costo aceptable para la comunidad, el cual incluya a todos los ciudadanos, empresas públicas y privadas y al gobierno. Los costos de operación de un sistema efectivo dependerán de la infraestructura local existente, pero idealmente debería ser menor o no mayor a los costos de manejo que se tienen actualmente.
- **Socialmente aceptable:** el sistema de GIRS debe funcionar de una manera aceptable para la mayoría de las personas que componen la comunidad en la que se encuentra inmersa. Es probable que esto requiera de un amplio diálogo con diferentes grupos con el objetivo de informar y educar, desarrollar confianza y obtener apoyo.

---

<sup>60</sup> Ibid., p. 18.

**Figura 11.** Definición esquema de prevención de generación en la fuente vs esquema de la GIRS.



**Fuente:** MCDUGALL, Forbes. *et al.* Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory. Oxford: Blackwell Science Ltd, UK. 2003. p. 17.

De este modo, reconociendo los diferentes métodos de reutilización de residuos plásticos, es fundamental conocer el costo del proceso de los desechos plásticos que se van a reutilizar, la técnica que se implementará con el material, la disminución de daños ambientales, y la aceptación social, pues esta práctica tiene como fin último, concebirse como una actividad sostenible. Calificativo que, según Zachary<sup>61</sup>, define dicha actividad con la característica de que puede ser sostenida de acuerdo con los recursos disponibles, la duración de una actividad, el costo de su ejecución, y la sustitución si es posible. Una condición de sostenibilidad se cumple cuando la duración, el coste y la cadena de actividades dependientes satisfacen la demanda.

En este orden de ideas, de acuerdo con el SIAME<sup>62</sup>, esta actividad comprende de un plan de gestión que consta de los siguientes pasos: planear, hacer, verificar y actuar, descritos brevemente a continuación:

- **Planear:** como corrobora La Guía de Plásticos, se inicia con la definición de políticas y metas por parte de la alta gerencia y la comunicación de éstas a todos los trabajadores y demás partes interesadas, la asignación de recursos y la designación de responsables específicos de cada trabajo.

Esta planeación se realiza con base en los resultados de la evaluación de la empresa frente a las exigencias legales y de sus clientes. La evaluación incluye una identificación sistemática de los riesgos ambientales que conlleva cada actividad y sus correspondientes impactos. La identificación de estos posibles impactos permite priorizar y controlar todos aquellos aspectos que resulten significativos, para determinar las acciones que deben adelantarse para llegar al control y cumplimiento. Para esto se designan responsables, se determinan los recursos necesarios, el tiempo requerido y se establecen las fechas de inicio y finalización. Todo esto debe reflejarse en un Plan de Acción con metas claramente definidas.

- **Hacer:** La segunda etapa tal como afirma la Guía de Plásticos, consiste en la implementación del Plan de Acción, el cual se adelanta de acuerdo con las orientaciones definidas en las políticas y actividades claves. La comunicación, divulgación, capacitación y promoción constituyen elementos esenciales para comprometer a todo el personal y alcanzar los resultados esperados. Tanto las políticas como el Plan de Acción de la gestión ambiental se deben difundir permanentemente dentro de la organización para que cada empleado tenga claro su papel frente a éstos, asuma sus responsabilidades y haga suya la filosofía de la empresa en materia ambiental.

---

<sup>61</sup> ZACHARY, D. On the sustainability of an activity. Scientific Report No. 4 – Article No. 5215. [electrónico]. 2004. [consultado: 16, octubre, 2016]. Disponible en: <http://www.nature.com/articles/srep05215>.

<sup>62</sup> SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL MINERO ENERGÉTICO – SIAME. Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica, y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Guías Ambientales. 2004. p. 20.

- **Verificar:** Como corrobora La Guía de Plásticos, Se establece un sistema formal medir los niveles de desempeño alcanzados en los procesos productivos como resultado del sistema de gestión implantado la verificación se realiza con base en las mediciones periódicas del desempeño ambiental de las empresas, a través de los indicadores que se escojan como los más significativos.

- **Actuar:** Es la etapa de la gestión conducente a implementar acciones que se permitan corregir las desviaciones encontradas en el desempeño, a prevenir su repetición y a mejorar los resultados.

### **3.5 PROPUESTA DE USO DE RESIDUOS DE TUBERÍA FLEXIBLE EN LA INDUSTRIA PETROLERA**

Una vez entendida la necesidad de buscar alternativas de uso y/o aprovechamiento de los residuos generados por la instalación de tubería flexible en materiales compuestos, así como las diferentes técnicas, estrategias, herramientas y legislación de la que disponemos para poder realizar cualquier tipo de gestión con los residuos; es preciso revisar en qué podemos materializar dicha gestión e identificar cuáles son las alternativas viables desde un marco de sostenibilidad como se expresó anteriormente.

Luego de una revisión bibliográfica, se evidencia que no se dispone de información concerniente a estudios o propuestas para la reutilización de tubería flexible generada en campos petroleros; por el contrario, las investigaciones revisadas y que se encuentran disponibles, enfocan sus esfuerzos para proponer alternativas para elementos compuestos de un solo material, más no para elementos multicapa como lo son la tubería de materiales compuestos.

No obstante a lo anterior, luego de evidenciar cierto tipo de necesidades que se presentan a diario en campo, a continuación se presenta una serie de propuestas en las que puede ser reutilizada la tubería desechada en alguna de las fases de movilización, almacenaje o la propia instalación. Es preciso aclarar que las siguientes propuestas deben ser estudiadas a profundidad para definir a profundidad si son o no una solución en campo, pero que a nivel general, se evidencia son alternativas de aprovechamiento del material en campo y que evitarían la necesidad de gestionar el material como desecho.

#### **a. Señalización para los anclajes de los equipos de perforación y servicio a pozo:**

Durante las operaciones de perforación y servicio a pozo en la industria petrolera, es rutinario la instalación de cuatro (4) guayas que se encuentran ubicadas desde

la corona de la torre hasta los diferentes puntos de la locación, las cuales una vez instaladas, forman una cruz. Su instalación se realiza con el objetivo de dar estabilidad al equipo de perforación o servicio a pozo en casos de trabajar con tensiones altas o trabajar durante tormentas. La **Imagen 2** permite ver un esquema básico de una torre de perforación y las guayas de soporte instaladas.

**Imagen 2.** Esquema básico de torre de perforación y guayas de soporte.



**Nota:** Fotografía tomada en campo de petróleos en cercanías del municipio de Puerto Boyacá.

Los puntos de anclajes de las guayas deben ser señalizados para evitar que las condiciones ambientales de las locaciones los tapen y después no sea posible encontrarlos, o por ejemplo, deba incurrirse en gastos adicionales como procesos de excavación, buscadores de metal o personal (cuadrillas) para identificarlos. Por ende, una práctica común y generalizada en campo es la señalización de los puntos de anclaje con tubos metálicos pintados de color amarillo, tal como lo muestra la **Imagen 3**.

Se propone entonces, utilizar tramos de tubería flexible de aproximadamente tres (3) metros de longitud, para ser enterrados a un (1) metro de profundidad, y utilizar remanentes de pintura de los equipos para identificarlos con color amarillo. Para esta aplicación, se podría cortar tramos largos de tubería residual en secciones cortas sin importar que tenga grietas o algún tipo de deformación.

Es importante resaltar que, un campo de explotación de petróleo puede llegar a tener más de 500 pozos, lo que puede significar sustanciales ahorros en cuanto a tubería metálica se requiere; adicionalmente, confiere ventajas frente a la tubería en acero porque no es afectada por la corrosión y evita riesgos laborales por que no requiere de oxicorte o soldaduras para su mantenimiento.



**Imagen 3.** Puntos de anclaje de guayas para torre de perforación.



**Nota:** Fotografía tomada en campo de petróleos en cercanías del municipio de Puerto Boyacá.

#### **b. Zonas de estacionamiento:**

Como es de conocimiento, para cumplir las actividades en campo es necesario movilizarse en vehículos debido a las grandes distancias y propia dinámica de la operación; por ende, normalmente es utilizado vehículos tipo “pickup” que por su versatilidad, facilitan las actividades. En los campamentos y oficinas es necesario construir zonas de parqueo para estos vehículos, con el fin de organizar y protegerlos de las condiciones climáticas de la zona.

En la actualidad, para construir estas zonas de parqueo es utilizado tubería de acero que permite formar la estructura que sostendrá el techo; por lo que se propone utilizar diferentes diámetros y longitudes de tubería flexible para construir la estructura. Además, para conferir estabilidad, rigidez y estructura a cada tubo, se propone rellenar cada tubo de cemento, proporcionándole el peso y relleno necesario para soportar el techo.

Por su parte, en las zonas de parqueo también se hace uso de tubos metálicos para utilizarlos como topes de estacionamiento, tal como lo muestra la **Imagen 4**. Allí también puede utilizarse tramos de tubería de aproximadamente dos (2) metros como topes de estacionamiento ubicados en el suelo que pueden ser pintados para su señalización.

**Imagen 4.** Topes de estacionamiento utilizados en zonas de parqueo en campo.



**Nota:** Fotografía tomada en campo de petróleos en cercanías del municipio de Puerto Boyacá.

### **c. Canal de deslizamiento de tubería:**

Durante las operaciones de servicio a pozo o “workover”, es frecuente la necesidad de ejecutar una actividad de movilizar o “quebrar” la tubería desde la torre de perforación hacia la canasta para su almacenamiento. Esta es una actividad de alto riesgo debido a la manipulación de la tubería de producción o tubería de trabajo en alturas; por tal motivo, normalmente es utilizada una canal que se ubica en un extremo en boca de pozo y por el otro en la canasta de tubería.

Dicha canal permite deslizar el pin o costado “macho” de cada tubo ubicándolo hacia abajo hasta lograr recostar el box o costado “hembra” ubicado en la parte superior bajando el bloque viajero; de esta manera la tubería queda acostada y es

deslizada hasta la canasta, facilitando su manipulación. La **Imagen 5** permite evidenciar la funcionalidad del canal de deslizamiento. Estas canales son fabricadas artesanalmente en diferentes materiales, por lo que se propone utilizar los tramos de tubería que se posean en los diámetros más grandes (mayores a 4.0 in) como canal realizando un corte transversal por la mitad de la tubería dividiéndola en dos secciones. Esta canal sería muy efectiva ya que garantiza una vida útil larga porque no presenta corrosión y además es más liviana que una fabricada de acero siendo más fácil de manipular.

**Imagen 5.** Canal de deslizamiento de tubería utilizada en campo.



**Nota:** Fotografía tomada en campo de petróleos en cercanías del municipio de Puerto Boyacá.

#### **d. Protectores para tubos metálicos que sostienen herramientas:**

Los equipos de perforación y servicio a pozo tienen una caja de herramientas donde se guardan varias herramientas tales como elevadores, cunas, llaves mecánicas, llaves hidráulicas, preventoras para varilla, preventoras para tubería, reductores de diámetro, entre otras. La mayoría de estas herramientas requiere de unos tubos de diferente diámetro para ser aseguradas en su diámetro interno; dicho aseguramiento busca que durante las movilizaciones no se desordene las herramientas y adicionalmente se protejan. Dichos tubos normalmente son de acero en carbón.

No obstante, experiencias en campo han evidenciado que el roce metal – metal genera un desgaste en las herramientas propio del material en que están fabricadas; motivo por el cual se propone reemplazar los tubos de aseguramiento por tubería flexible que trabajaría como un liner interno tipo “funda”, que evitaría el roce metal – metal y de esta manera podría prolongar la protección de la herramientas, y este a su vez, extender la vida útil de las herramientas. Para esta aplicación, los diámetros y longitudes que pueden ser utilizados estarán limitados a la caja de herramientas que se posea.

#### **e. Colgadores para ropa en las casetas de los campamentos:**

El personal que trabaja en campo permanentemente, tiene su hospedaje en campamentos que se encuentran equipados con todas las instalaciones para una buena acomodación. Dicha acomodación incluye closets que son fabricados en madera para facilitar la movilización y la logística de la ubicación de las casetas; sin embargo, debido a los constantes movimientos, la integridad de los closets se ve afectado y particularmente, el tubo puesto en madera para colgar la ropa sufre frecuentemente colapsos por lo que es muy común el reemplazo de estos tubos.

Materiales como tubería de acero no puede utilizarse debido a que el peso junto con los ganchos de ropa sería excesivo y podría debilitar la estructura de todo el closet; por lo tanto, se propone utilizar la tubería flexible como soporte para colgar la ropa, dado que confiere una estabilidad muy superior a un tubo fabricado con madera pero a su vez, posee un peso ligero y liviano inferior al acero. De esta manera se pueden evitar gastos de mantenimiento en las casetas, y adicionalmente, se reduce el gasto o consumo de materiales como la madera.

#### **f. Canales para desviar goteo de crudo hacia tanques de recolección:**

Durante las operaciones de perforación y servicio a pozo se presentan goteos de crudo al momento de retirar las herramientas de los pozos o cuando el sol calienta los residuos que ya estaban a temperatura ambiente. Actualmente se usan geomembranas debajo de las canastas de tubería y en boca de pozo, estas geomembranas se impregnan de crudo rápidamente obligando a ser cambiadas continuamente, generando residuos sólidos peligrosos.

Se propone entonces, realizar cortes en la tubería flexible para hacer canales y direccionar los goteos hacia las líneas de recepción de las locaciones, las cuales envían los fluidos a las plantas de tratamiento del campo. Con esta propuesta se garantiza el continuo cuidado del medio ambiente y ahorros económicos debido a que se extiende la vida útil de las geomembranas.



### g. Letreros informativos y señalización:

La red vial en los campos petroleros tiene distribuciones sujetas a la ubicación de los pozos y condiciones ambientales; esto hace necesario que las vías, locaciones y campamentos requieran de una señalización efectiva y que cumpla con la normatividad institucional y nacional de movilización terrestre. Adicionalmente, es necesario señalar zonas de reserva ambiental, áreas con algún tipo de condición especial o asegurar zonas de peligro para los trabajadores.

En consecuencia, el uso de postes informativos y/o reglamentarios es cotidiano y dentro de un campo petrolero se encuentra una cantidad considerable de los mismos, tal como lo muestra la **Imagen 6** que representa un ejemplar. Por ende, se propone reemplazar los postes con los que están construidos actualmente y realizar la señalización con tubería flexible que puede ser rellena con cemento para brindarle estabilidad y rigidez. Para esta aplicación, el diámetro y longitud de los tramos de tubería a utilizar dependerá en gran medida del tipo de señalización que se requiera, no obstante cabe la pena resaltar que, con la utilización de este tipo de material evitaran mantenimientos preventivos y correctivos por corrosión, que son frecuentes al estar expuestos a un ambiente propicio para la corrosión.

**Imagen 6.** Poste de informativo/señalización en campo.



**Nota:** Fotografía tomada en campo de petróleo en cercanías del municipio de Puerto Boyacá.

#### **h. Racks para soportar tubería y varillas:**

Los pozos petroleros usan, tubería de producción y varillas para extraer el crudo de la cara de la formación hasta las líneas de superficie que llevan el petróleo crudo hasta las plantas de tratamiento de los campos, antes de iniciar su transporte hasta refinería (para su tratamiento) o puertos (para su exportación). Cuando el pozo requiere mantenimiento preventivo a correctivo con equipo de servicio a pozo, es necesario extraer la sarta de varilla y sarta de tubería (completamiento); luego de su extracción y mientras perdure en superficie, el completamiento requiere ser colocado en unos racks o soportes tal como se evidencia en la **Imagen 7**.

Estos racks o soportes están contruidos con tubería metálica y son transportados de pozo en pozo para prestar el servicio antes mencionado. Se propone entonces, utilizar tramos de tubería flexible de diferentes longitudes y diámetros (dependiendo el peso y longitud del completamiento) para sustituir la tubería metálica. De ser necesario, nuevamente se requeriría bombear cemento en el interior de la tubería para conferirle rigidez a la tubería. Esta alternativa sería muy ventajosa ya que se evitaría mantenimiento preventivo y gestión preventiva y/o correctiva por corrosión.

**Imagen 7.** Racks de soporte para sarta de completamiento.



**Nota:** Fotografía tomada en campo de petróleos en cercanías del municipio de Puerto Boyacá.

#### **i. Estructuras en parques recreativos para las comunidades:**

Como es de conocimiento, los campos petroleros se encuentran localizados normalmente en zonas rurales, las cuales se ven favorecidas por las gestiones que las operadoras realizan dentro del marco de responsabilidad social en el área de influencia de sus operaciones. Dentro de estas actividades sociales se encuentra incluido la recreación para los niños pertenecientes a las comunidades que colindan con las áreas de operación; en consecuencia, operadoras gestionan la construcción de parques de recreación con cierta frecuencia en la que se evidencian estructuras construidas a partir de tubería de acero y madera.

Así las cosas, con el ánimo de reducir el consumo de material proveniente de madera, y evitar la necesidad de mantenimiento reiterativo de piezas formadas con tubería metálica, se propone utilizar tubería flexible para la construcción de paralelos, estructuras para columpios, anclajes para cercas y diferentes estructuras a base de tubería flexible nuevamente cementada en su interior. Esta aplicación es bastante rentable para la operadora que lidere el proyecto, lo que puede convertirse en una forma de promover la ejecución de proyectos de esta índole.

#### **j. Líneas de baja y alta presión en equipos de perforación y servicio a pozo:**

En las distintas actividades de operación de pozos, es frecuente requerir de bombas y líneas para la circulación de fluidos en el pozo y superficie (ver **Imagen 8**). Estas líneas pueden manejar altas presiones y bajas presiones dependiendo en que parte del circuito este ubicadas. Para su funcionamiento, son utilizadas líneas de acero con conexiones de golpe y los fluidos que manejan generalmente son altamente corrosivos, motivo por el cual se deben realizar mantenimientos preventivos de manera constante, lo cual se ve evidenciado en los altos costos de personal e insumos requeridos durante la operación.

En consecuencia, se propone utilizar residuos de tubería flexible que se encuentren hidráulicamente aptos para reemplazar las tuberías en acero; requiriéndose tubería en diferentes longitudes y diámetros dependiendo su ubicación en el circuito de circulación. La única inversión adicional que se requeriría serían las pruebas hidráulicas, conexiones y válvulas que se adapten a la nueva línea que se instale. Es necesario tener en cuenta que, independientemente de la marca o fabricante de la tubería flexible, este tipo de tecnología soporta altas presiones (aproximadamente 1000 psi) pero su mayor limitante está en los rangos de operación de temperatura; por lo que esta propuesta aplicaría para pozos que manejen temperaturas por debajo de 180°F (máxima y generalizada temperatura de aplicabilidad de esta tecnología).

**Imagen 8.** Líneas para la circulación de fluidos en el pozo y superficie.



**Nota:** Fotografía tomada en campo de petróleos en cercanías del municipio de Puerto Boyacá.

### **3.6 REUTILIZACIÓN DE LA TUBERÍA FLEXIBLE POR COMPONENTES**

Una vez propuesta las alternativas de reutilización de la tubería flexible en campo, y reconociendo que no se dispone de material bibliográfico en cuanto a alternativas de aprovechamiento como tubería; a continuación se presenta alternativas de uso concibiendo la oportunidad de realizar la separación de la tubería en sus componentes principales.

Para tal efecto, es válido recordar que como se describió en el Capítulo 1, la tubería flexible en materiales compuestos está constituida principalmente de polímeros tales como el polietileno de alta densidad (HDPE por sus siglas en inglés), polietileno de baja densidad (LDPE por sus siglas en inglés), polifloruro de vinilideno (PVDF por sus siglas en inglés), poliamida (PA), sulfuro de polifenileno (PPS), polipropileno (PP), y componentes estructurales como fibra de vidrio, nylon y fibra de aramida. El **Cuadro 7** resume los principales usos y aplicaciones así como las formas en que se recicla la mayoría de los polímeros en los que está compuesta la tubería, reciclaje que se realiza individualmente luego de su recuperación.



**Cuadro 7.** Principales usos y productos en los que se recicla los principales polímeros que constituyen la tubería flexible en materiales compuestos.

	PET	HDPE	LPDE	PP	PS
<b>Nombre</b>	<b>Polietileno Tereftalato</b>	<b>Polietileno de Alta Densidad</b>	<b>Polietileno de Baja Densidad</b>	<b>Polipropileno</b>	<b>Poliestireno</b>
<b>Usos y aplicaciones</b>	Envases para gaseosas, aceites, agua mineral, cosmética, películas transparentes, fibras textiles, laminados de barrera.	Envases de detergentes, aceites de motor, shampoo, lácteos, bolsos para supermercados, bazar y cajones para gaseosas.	Bolsas de todo tipo: supermercado, boutiques, panificación, películas para agricultura, base para pañales, bolsas para suero, contenedores hermenéuticos, etc.	Película / Film (para alimentos, golosinas, indumentaria), bolsas de rafia tejidas, envases industriales (Big Bag), hilos, tapas en general, envases, cajas para bebidas, baldes para pintura, fibras para tapicería, cajas de baterías	Envases para lácteos (yoghurt, postres, etc.), helados, dulces, etc., vasos, bandejas de supermercado contrapuestas y anaqueles, máquinas de afeitar descartables, platos, cubiertos, juguetes, cassettes, planchas de PS espumado
<b>Ventajas y beneficios</b>	Barrera de los gases Transparente Irrompible Liviano Impermeable No tóxico Inerte (al contenido).	Resistencia a las bajas temperaturas Irrompible Liviano Impermeable No tóxico Inerte (al contenido).	.No tóxico .Flexible .Liviano .Transparente .Inerte al contenido .Impermeable .Económico,	Inerte (al contenido) Resistente a la temperatura (hasta 135°C) Barrera a los aromas Impermeable Irrompible Brillo Liviano Transparente en películas No tóxico Alta resistencia química	Brillo Ignífugo Liviano Irrompible Impermeable Inerte y no tóxico Transparente Fácil limpieza
<b>Se recicla en</b>	Alfombras, films, envases para alimentos y productos no alimenticios.	Bolsas de residuos, caños, madera plástica para postes, etc.	Bolsas de residuos, caños, madera plástica para postes, marcos, film para agricultura.	Tabla de plástico, muebles de jardín, pilotes, postes y vallas, pitas de rafia, baldes y conos.	Desde macetas para plantas, accesorios de oficina, aislamientos térmicos.

**Fuente:** TÁVARA, Raúl. Propuesta de Reciclaje Mecánico de Plásticos en la Ciudad de Piura. Repositorio Institucional PRIHUA – Universidad de Piura. Perú. 2004. p 31. Adaptada por el autor.

### 3.6.1 Polietileno

El polietileno de alta densidad es un polímero plástico con propiedades flexibles que lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones. De acuerdo con Welle<sup>63</sup>, los artículos de consumo más frecuentemente producidos a partir de polietileno reciclado son botellas de detergentes y recipientes para aceite de motor. Las botellas se hacen generalmente en tres capas, la capa intermedia contiene el material reciclado, mientras que la capa interior y exterior están compuestas de resina virgen, proporcionando una barrera fiable, y un aspecto y color uniforme respectivamente. El polietileno reciclado se utiliza también para envolturas protectoras, bolsas de plástico, tuberías y productos moldeados como juguetes y cubos.

Según lo expresa Tavará<sup>64</sup>, es importante tener en cuenta que, particularmente, el polietileno de alta densidad al ser procesado de forma individual ofrece varias alternativas para su reutilización. Generalmente, sus usos y aplicaciones varían entre envases para detergentes, aceites de motor, shampoo, lácteos, bolsas para supermercados, bazar y menaje, cajones para gaseosas, cervezas, baldes para pintura, helados, caños para gas, agua, drenaje y uso sanitario, macetas, bolsas tejidas. Por otra parte, reconoce que este material posee diferentes beneficios, ya que es resistente a las bajas temperaturas, irrompible, liviano, Impermeable, inerte al contenido, y no posee sustancias tóxicas para el ser humano y en este sentido, concibe al polietileno de alta densidad como susceptible para ser reciclado y utilizado en bolsas de residuos, caños, madera plástica, postes, marcos y film para agricultura.

### 3.6.2 Sulfuro De Polifenileno (PPS)

De acuerdo a Tavará<sup>65</sup>, el Sulfuro de polifenileno al ser tratado con las mejoras tecnológicas en la fabricación de la resina, sumadas a la utilización de diseños innovadores de los productos permiten que los envases de alimentos hayan tenido una considerable disminución de peso. Por ejemplo, un envase de poliestireno para 125g de yogur pesaba, en 1978, 6,5 g y en la actualidad pesa 3,5 g.

Los diferentes tipos de envases o contenedores de comida de PPS pueden recuperarse separadamente o juntos. El PPS reciclado se utiliza para fabricar tabla de espuma aislante de cimentación, accesorios de oficina, bandejas para servir comida, recipientes de basura, aislamiento, macetas, hueveras y productos

---

<sup>63</sup> WELLE, Frank. Develop a food grade HPDE recycling process. Fraunhofer Institute for Process Engineering and Packaging (IVV). The Waste & Resources Action Programme. Oxon UK. 2005. p 20.

<sup>64</sup> TÁVARA, Raúl. Propuesta de Reciclaje Mecánico de Plásticos en la Ciudad de Piura. Repositorio Institucional PRIHUA – Universidad de Piura. Perú. 2004. p 45.

<sup>65</sup> Ibid., p.35.

moldeados por inyección. Así también es utilizado para la producción de tacos para calzado, juguetes, pegamento y botones

### **3.6.3 Poliéster (PET)**

Para Awaja<sup>66</sup>, el PET es considerado como uno de los plásticos convencionales más utilizados en la sociedad, principalmente reflejado en la producción de botellas para bebidas y agua. Para ser reciclado, es recolectado y posteriormente enviado a estaciones de reciclado donde son molidos en forma de scraps. Los scraps son separados y lavados de acuerdo con las especificaciones del mercado. El PET recuperado luego es vendido a los fabricantes quienes lo convierten en subproductos tales como botellas para productos químicos, aceites para carro, entre otros. En Estados Unidos, según sus cifras, alrededor de un 75% del PET recuperado se usa para hacer fibras de alfombras, ropa y geotextiles. La mayor parte del 25% remanente es extruido en hojas para termoformado, inyectado / soplado en envases para productos no alimenticios, o compuesto para aplicaciones de moldeo.

### **3.6.4 Polipropileno (PP)**

De acuerdo con Távora<sup>67</sup>, en su texto, la mayor parte del polipropileno reciclado se deja en scraps mezclados, utilizados solamente para productos con bajas especificaciones como tabla de plástico, muebles de jardín, cajas, pilotes, postes y vallas. También se utiliza para elaborar pitas de rafia, baldes y conos. Los procesadores de baterías ácidas de plomo también recuperan polipropileno para usarlo en nuevas baterías. En los Estados Unidos se recicla el 45% del PP de las baterías post-consumo para la fabricación de nuevas baterías

### **3.6.5 Fibra de Aramida (KEVLAR)**

El Kevlar, en combinación con Nomex, es utilizado en una gran gama de productos entre ellos, es utilizado como los chalecos y cascos antibalas, también en el desarrollo de cables ópticos, cordones para escalar, llantas, partes para aviones, canoas, raquetas de tenis y más.

---

<sup>66</sup> AWAJA, Firas. *et al.* Recycling of PET. Erupean Polymer Journal 41. RMIT University, Department of Applied Chemistry, Science, Engineering and Technology Portfolio. Australia. 2005. p 1.

<sup>67</sup> TAVARA, Op Cit., p.47.

### 3.6.6 Fibra de Vidrio

El reciclaje de materiales compuestos es realmente un desafío debido a la heterogeneidad inherente de sus componentes. Como es de conocimiento, materiales termoplásticos pueden ser reciclados a través de calor seguido por técnicas de reorganización o remodelado.

Sin embargo, el reticulado tridimensional de las estructuras moleculares de la resina termoplástica pueden verse afectadas por la presencia de material como la fibra de vidrio. Por ende, métodos para aprovechar material termoplástico reforzado con fibra de vidrio han sido estudiados y se encuentran en desarrollo, convirtiéndolos en métodos únicos de aprovechamiento. De acuerdo con Norshah<sup>68</sup>, la tecnología para reciclar este tipo de material está dividida en técnicas mecánicas, pirólisis convencional, pirólisis de microondas y química y eléctrica fragmentación. El **Cuadro 8** contiene una breve descripción de cada técnica, así como el estado actual de estos métodos.

**Cuadro 8.** Tecnologías de reciclaje de fibra de vidrio de material termoplástico.

Proceso	Descripción	Ventajas
Químico	Parte matricial del residuo es disuelto usando un solvente como un reactivo químico o agua a temperatura típicamente por debajo de los 400°C.	Largas fibras pueden ser recuperadas con alta resistencia de retención comparadas con otros métodos. Posibilidad de recuperar monómeros o resinas.
Pirólisis Convencional	Descomposición de parte orgánica de los residuos usando calefacción en horno dentro una atmosfera inerte.	Productos líquidos y gaseosos recuperados han mostrado potencialidad para ser usados como fuentes de energía autosostenibles.
Cama Fluidizada	Una corriente de aire es usada para calentar y descomponer el residuo a temperaturas entre los 450 – 650 °C, dejando elementos inorgánicos y reforzados como las fibras y material de relleno como la cama de gel de silica.	Materiales contaminados pueden ser procesados sin etapas de limpieza y pre-procesado. Parte de compuestos orgánicos en combustión tienen potencial de ser recuperados como fuente de energía.

**Fuente:** NORSHAH, Shuaib. Energy demand in mechanical recycling of glass fibre reinforced thermoset plastic composites. Journal of Cleaner Production. Elsevier. School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering. The University of Manchester. Manchester UK. 2016. p 3.

<sup>68</sup> NORSHAH, Shuaib. Energy demand in mechanical recycling of glass fibre reinforced thermoset plastic composites. Journal of Cleaner Production. Elsevier. School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering. The University of Manchester. Manchester UK. 2016. p 2.

**Cuadro 8.** (Continuación).

Proceso	Descripción	Ventajas
Fragmentación de Alto Voltaje	Descargas eléctricas son usadas para fraccionar los componentes del residuo en agua.	Obtención de productos con fibras con alta resistencia de retención y con rendimiento mecánico para re-manufactura.
Mecánico	Reducción de tamaño del residuo en un fino polvo (menor a 100 µm de tamaño) y fibras finas (alrededor de 5 – 10 mm de longitud).	Aplicable para procesos de escala industrial.
Pirólisis de Microondas	Descomposición de partículas orgánicas del residuo a través de calor por microondas dentro una atmosfera inerte.	Obtención de productos con fibras con alta resistencia de retención. Baja demanda de energía y rápido calentamiento.

**Fuente:** NORSHAH, Shuaib. Energy demand in mechanical recycling of glass fibre reinforced thermoset plastic composites. *Journal of Cleaner Production*. Elsevier. School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering. The University of Manchester. Manchester UK. 2016. p 3.

### 3.6.7 Recuperación energética de residuos plásticos

Un caso en particular que tiene validez en mencionarse es la recuperación de energía a partir de los residuos de polímeros que se describieron anteriormente. Los residuos plásticos dado a su alto valor de calor de combustión contribuyen eficazmente al proceso de combustión; por naturaleza, los plásticos, derivados de los hidrocarburos, son un gran reservorio de energía que debe aprovecharse en lugar de ser desechado.

Según Arandéz<sup>69</sup>, la obtención de energía a partir de estos residuos ya sea en forma de energía eléctrica que se incorpora a la red de distribución o en la forma de calor para calefacción o la combinación de ambas se ha extendido rápidamente en países desarrollados, como producto de la necesidad de buscar alternativas para la disposición de residuos y la reducción en el gasto de nuevos recursos. De acuerdo con el autor, Suiza destina el 68%, Alemania el 60 % y Francia el 38 % de sus residuos plásticos generados a la combustión con recuperación de energía.

Para Botello<sup>70</sup>, el mecanismo de obtención en términos generales, se resume en la transformación de unos residuos plásticos mediante un proceso químico a

<sup>69</sup> ARANDÉZ, Jose. *et al.* Recuperación Energética de los Residuos Plásticos. *Plastivida*. Boletín Técnico Informativo No. 32. Argentina. 2009. p 14.

<sup>70</sup> BOTELLO, F. *et al.* Pirólisis del polietileno en presencia y ausencia de catalizadores arcillosos. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila. México. 2010. p. 2.

combustible diesel que puede ser usado directamente en automotores. Básicamente, el sistema utiliza licuefacción, pirólisis y craqueo catalítico de plásticos para la obtención del combustible; en ese sentido, se puede manejar casi todo tipo de plásticos que en la actualidad se desechan en rellenos particularmente el HPDE, LPDE, PP y PS, y por su parte, polímeros como el PET o el PVC no son adecuados para ser sometidos a este proceso.

### 3.6.7.1 Características del proceso

La pirolisis, es el proceso que resume la obtención de combustible a partir de plásticos. Según Demirbas<sup>71</sup>, la pirólisis es un proceso de termodegradación en ausencia de oxígeno en la que los residuos plásticos son continuamente tratados en una cámara cilíndrica y los gases pirolíticos son condensados en un sistema condensador especialmente diseñado para generar un destilado de hidrocarburo compuesto por hidrocarburos alifáticos de cadena abierta y ramificada, alifáticos cíclicos e hidrocarburos aromáticos; consecuentemente, la mezcla resultante es esencialmente destilado de petróleo. El plástico, de acuerdo al autor, es pirolizado normalmente a 370°C - 420°C y los gases de la pirólisis son condensados en un condensador de 3 etapas para lograr un destilado con bajo contenido de sulfuro.

Complementariamente, Botello<sup>72</sup> resume el proceso de pirolisis de plásticos en de la siguiente forma:

- Calentar en forma pareja el plástico a un rango limitado de temperatura sin variaciones excesivas de temperatura
- Purgar el oxígeno de la cámara de pirólisis.
- Manejar el sub-producto carbonoso dentro del reactor antes de que éste actúe como aislante térmico y haga descender la transmisión de calor al plástico
- Condensar y fraccionar cuidadosamente los vapores de la pirólisis para producir un destilado de buena calidad y consistencia.

### 3.6.7.2 Descripción del proceso

Para Arandéz<sup>73</sup>, el proceso de pirolisis en un sistema de alimentación de reserva, una cámara de gasificación por pirólisis, un convertidor catalítico, condensadores, una centrífuga, una línea de recuperación de aceites, eliminación del gas remanente, y remoción de impurezas. Allí son cargados los residuos plásticos a

---

<sup>71</sup> DEMIRBAS, Ayhan. Pyrolysis of municipal plastic wastes for recovery of gasoline-range hydrocarbons. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis V72. Elsevier. Konya Turkey. 2004. p. 99.

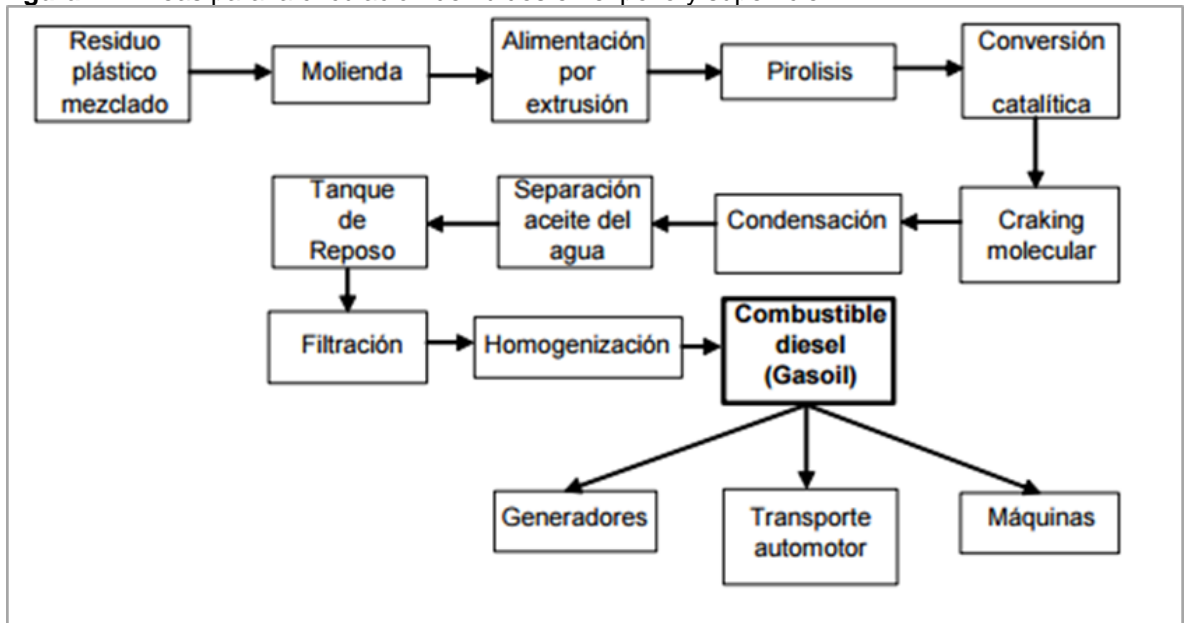
<sup>72</sup> BOTELLO. Op Cit. p. 3.

<sup>73</sup> ARANDÉZ, Jose. *et al.* Recuperación Energética de los Residuos Plásticos. Plastivida. Boletín Técnico Informativo No. 32. Argentina. 2009. p 15.

través de un sistema de extrusión que funde el material y lo ingresa a la cámara de pirólisis principal. Una vez allí, el material mezclado se muele a un tamaño de aproximadamente 15 mm para alimentarlos al extrusor. Cuando la temperatura del reactor se eleva, la agitación comienza a uniformar la temperatura.

Para el autor, la pirólisis llega a un punto de gasificación del producto (aprox. 300 a 420 °C) en ausencia de oxígeno. Posteriormente, los materiales no plásticos se depositan en el fondo de la cámara así como el alquitrán (< 5 %) de donde se extraen. El gas pasa por el convertidor catalítico (patentado) y se convierte en fracciones de destilado por medio del proceso de craqueo catalítico. El destilado o condensado pasa luego al tanque de recuperación después de enfriarse en los condensadores. Los gases no condensados se purifican y se usan como combustible para calentar el reactor principal. Desde el tanque de recuperación, el producto es enviado a una centrífuga para remover contaminantes tales como agua y carbón. El destilado limpio luego se bombea al tanque de reserva para posteriormente depositarse en los tanques de almacenamiento para su uso como gasoil.

**Figura 12.** líneas para la circulación de fluidos en el pozo y superficie.



**Fuente:** ARANDÉZ, Jose. *et al.* Recuperación Energética de los Residuos Plásticos. Plastivida. Boletín Técnico Informativo No. 32. Argentina. 2009. p 15.

### 3.6.7.3 Adaptación de los distintos plásticos

De acuerdo con Kloker<sup>74</sup>, plásticos como las poliolefinas y el poliestireno poseen el mejor comportamiento frente a procesos como la pirolisis. El PVC, por su parte no es adecuado para este tipo de procesos debido a que se ve interferidos por la presencia del cloro, y el agregado de neutralizantes; de igual forma, el PET se ve ampliamente limitado por el contenido de oxígeno para ser utilizado en un sistema de pirolisis. El **Cuadro 9** resume la adaptabilidad de los diferentes plásticos a un sistema de pirolisis.

**Cuadro 9.** Adaptabilidad de diferentes plásticos a un sistema de pirólisis

Plástico	Densidad	Adaptabilidad al sistema de pirólisis
Polietileno (PE)	0,919 - 0,960	Muy buena
Polipropileno (PP)	0,900	Muy buena
Poliestireno (PS)	1,050	Muy Buena
Copolimero ABS	1,03 - 1,07	Buena. Requiere medición de gases remanentes
Policloruro de vinilo (PVC)	1,350	No adecuado
Poliuretano (PU)	1,200	Buena. La recuperación de aceite es limitada
Polietilen tereftalato (PET)	1,37 - 1,45	Muy limitado. Recomendable 1 %. Máximo 5 %

**Fuente:** KLOKER, C. *et al.* Conversion of waste plastics into fuels: Recycling polyethylene in FCC. Applied Catalysis B: Environmental. Volume 36. Elsevier. Argentina. 2002. p 281.

<sup>74</sup> KLOKER, C. *et al.* Conversion of waste plastics into fuels: Recycling polyethylene in FCC. Applied Catalysis B: Environmental. Volume 36. Elsevier. Argentina. 2002. p 281.



#### 4. CONCLUSIONES

- Las alternativas de aprovechamiento propuestas para los residuos de tubería flexible en materiales compuestos son las siguientes: señalización para los anclajes de los equipos de perforación y servicio a pozo, topes para zonas de estacionamiento en campo, canales de deslizamiento de tubería, protectores para tubos metálicos, colgadores de ropa en casetas de campamentos, canales para desviar goteo de crudo hacia tanques de recolección, letreros informativos y señalización en campo, racks para soportar tubería y varillas, estructuras para parques recreativos y líneas de baja y alta presión en equipos de perforación y servicio a pozo.
- La revisión bibliográfica realizada no muestra resultados contundentes en cuanto a investigaciones que soporten alternativas de manejo de la tubería flexible en materiales compuestos. Se han estudiado alternativas para tubería compuesta por un solo material, pero al concebir la tubería como un sistema multicapa de diferentes materiales, no se evidencian estudios para la reutilización o el aprovechamiento de los residuos que se generan a partir de este tipo de tecnología.
- Complementariamente a las propuestas descritas, otros usos para los residuos de tubería flexible se pueden incluir considerando los materiales aisladamente; es decir, separando su tecnología multicapa por materiales. En este sentido, alternativas que se han estudiado para materiales como el polietileno, el sulfuro de polifenileno, el polipropileno, la fibra de aramida, la fibra de vidrio o el nylon, pueden ser implementadas para buscar alternativas de valorización de los residuos de la tubería.
- Una vez revisado el marco normativo, se evidencia un vacío en materia de las prácticas requeridas o recomendadas para la disposición de materiales de desecho de tubería flexible en materiales compuestos. Si bien es cierto que se considera un residuo especial y por ende debe tener un tratamiento como residuo peligroso; no se cuenta con una legislación clara en cuanto a que se debe hacer y qué no. Además, las principales compañías manufactureras de esta tecnología, tampoco disponen fácilmente de información que permita conocer las prácticas y condiciones recomendadas de disposición.
- Las alternativas de uso propuestas tanto para la tubería como para los materiales de las que está compuesta, permitirían prolongar la vida útil de estos residuos, y consecuentemente, evitar que sean destinados a la disposición final inmediatamente. No obstante, es claro que una vez culminen su ciclo nuevamente, deberá ser gestionada su disposición de la misma manera en la que debió ser inicialmente, por lo que un relleno de seguridad o la incineración son las opciones que se tendrían a disposición.

## 5. RECOMENDACIONES

- Las propuestas identificadas en el trabajo son la primera aproximación a las diferentes alternativas que se pueden viabilizar para este tipo de residuos, y se caracterizan por ser opciones de uso *in situ*, pues se proponen para ser utilizados en los mismos campos de petróleo donde han sido generados. No obstante, se recomienda adelantar un estudio más amplio que permita identificar opciones de uso que puedan aplicarse en distintas áreas ya sea en el ámbito productivo, rural o doméstico, entre otros.
- Se recomienda ampliar la revisión del estado del arte de las diferentes opciones de aprovechamiento de residuos generados a partir de materiales compuestos, con el objetivo de identificar alternativas de valorización de los residuos para la incorporación al ciclo productivo como subproductos o materia prima para la fabricación de nuevos productos.

## BIBLIOGRAFIA

- AGUADO, J. *et al.* Feedstock Recycling of Plastic Wastes. Cambridge: J.H. Clark, University of York, UK, 1999.
- ALLSOPP, M., Walters, A., Santillo, D. & Johnston. Plastic Debris in the World's Oceans. Greenpeace. 2006.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). Recommended Practice 17B. Recommended Practice for Flexible Pipe. Fifth Edition. May 2014.
- ANÓNIMO. Flexible pipe: Technip at a glance[en línea]. En: Engineering and technologies. Technip Corporation. 2015. [Consultado: 23,enero,2016]. Disponible en < [https://www.technip.com/sites/default/files/technip/fields/publications/attachments/flexible\\_pipe\\_july\\_2015\\_web.pdf](https://www.technip.com/sites/default/files/technip/fields/publications/attachments/flexible_pipe_july_2015_web.pdf) >
- ARANDÉZ, Jose. *et al.* Recuperación Energética de los Residuos Plásticos. Plastivida. Boletín Técnico Informativo No. 32. Argentina. 2009.
- ARANDEZ, J. Reciclado de Residuos Plásticos. Revista Iberoamericana de Polímeros. Volumen 5(1). 2004.
- AWAJA, Firas. *et al.* Recycling of PET. Erupean Polymer Journal 41. RMIT University, Department of Applied Chemistry, Science, Engineering and Technology Portfolio. Australia. 2005.
- BOTELLO, F. *et al.* Pirólisis del polietileno en presencia y ausencia de catalizadores arcillosos. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila. México. 2010.
- BRAESTRUP, Mikael. Design and Installation of Marine Pipelines. Oxford: Backwell Science. 2005.
- CANCIÓN, J. *et al.* Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. Philosophical Transactions. Biological Sciences. 2009.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F. Sistemas de Aseo Urbano/ Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. Bogotá, D.C. Colombia, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. [electrónico]. 2012. [consultado: 16, julio, 2016] Disponible e <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO%20F.pdf>

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 4741. (30 de diciembre de 2005). Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Diario Oficial No. 46,137. Bogotá. 2005.

COLOMER, Francisco y GALLARDO, Antonio. Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos. México D.F: Editorial Limusa S.A. 2007.

CROMPTON. T.R. Engineering Plastics. Shrewsbury: Smithers Rapra Technology Ltd, UK, 2014.

DEMIRBAS, Ayhan. Pyrolysis of municipal plastic wastes for recovery of gasoline-range hydrocarbons. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis V72. Elsevier. Konya Turkey. 2004.

ELIAS, Xavier. Emisiones a la atmosfera y correcciones: Tipos de hornos. Organización Panamericana de la Salud Organización Mundial de la Salud. 2010. [consultado: 04, diciembre, 2016] Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/cursos/eas/e/fulltext/Ponencias-ID55.pdf>

ESPAÑA. Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration. 2011.

FARSHAD, M. Plastic Pipe Systems: Failure investigation and diagnosis. Elsevier Science Technology, UK, 2014.

FIBERSPAR. Guía básica de instalación de tubería Fiberspar Rev 11.10.08. Fiberspar LLC. 2009.

GARAY, Carlos. Un acercamiento a los plásticos. Publicación de la Asociación colombiana de Industrias Plásticas –Acoplasticos-. Agora Editores. Bogotá. 1999.

GARAY, Carlos A. *et al.* Guías Ambientales – Sector Plástico. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [electrónico]. 2004. [consultado: 16, enero, 2016] Disponible en: [http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias\\_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/INDUSTRIAL%20Y%20MANUFACTURERO/Guias%20ambientales%20sector%20pl%C3%A1sticos.pdf](http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/INDUSTRIAL%20Y%20MANUFACTURERO/Guias%20ambientales%20sector%20pl%C3%A1sticos.pdf)

GISBERT, Xavier. *et al.* Revista de Materiales. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Subdirección General de Cooperación Internacional. España. 2013.

HOPEWELL, J., Dvorak, R. & Kosior, E. Plastics recycling: challenges and opportunities. Philosophical Transactions. Biological Sciences. 2009.

KLOKER, C. *et al.* Conversion of waste plastics into fuels: Recycling polyethylene in FCC. Applied Catalysis B: Environmental. Volume 36. Elsevier. Argentina. 2002.

KOCH, G.H. *et al.*, Corrosion Cost and Preventive Strategies in the United States. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. Houston. 2001.

LESAGE, Nathan. Using Reinforced Thermoplastic Pipe (RTP) In Natural Gas Distribution Applications. Flexpipe Systems: Plastics Pipes XV. Vancouver. 2010.

LLANOS, Gustavo, Biodegradación de poliuretano residual por fermentación en estado sólido, Medellín, 2009.

MAKSELON, Christopher. *et al.* Field Case Study: Wyoming operator discovers that not all spoolable pipelines perform alike [en línea]. En: Fiberspar Corporation. p 1. 2012. [Consultado: 24,enero,2016]. Disponible en <http://ethesis.nitrkl.ac.in/4640/1/211CE3244.pdf>

MCDUGALL, Forbes. *et al.* Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory. Oxford: Blackwell Science Ltd, UK. 2003.

NIELSEN, Charlene. Recycling: Processes, Costs, and Benefits. New York: Nova Science Publishers, Inc. 2011.

NORSHAH, Shuaib. Energy demand in mechanical recycling of glass fibre reinforced thermoset plastic composites. Journal of Cleaner Production. Elsevier. School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering. The University of Manchester. Manchester UK. 2016.

OWENS, Nick. After installing 15,000 km of Spoolable Glass Reinforced Epoxy pipe in North America this revolutionary technology has come to Australia [en línea]. En: OilGas CBM Services. Fiberspar Corporation. 2012. [Consultado: 24,enero,2016]. Disponible en < [http:// www.oilgascbm.com/pdfs/pipeline\\_article.pdf](http://www.oilgascbm.com/pdfs/pipeline_article.pdf) >

POLYFLOW. Thermoflex. Manual de Instalación: Líneas de recolección, inyección, disposición y recubrimientos. Publicación No. 4. 2010.

PROCURADURÍA GENERAL DE LA NACIÓN. Rellenos y/o Celdas de Seguridad y Sistemas de Incineración y Autoclave. Circular No. 16 del 22 de junio de 2011.

SCHOTT. Nick. *et al.* Plastics Technology Handbook – Volume 1: Introduction-Properties-Fabrication-Processes. New York: Momentum Press, LCC, 2010.

SEVIGNÉ, Itoiz. Análisis de Ciclo de Vida de la gestión de residuos de envases de PET, latas y bricks mediante SIG y SDDR en España, 2011.

SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL MINERO ENERGÉTICO – SIAME. Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica, y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Guías Ambientales. 2004.

STEWART, Richard. Plastic Pipe: Corrosion resistance, easy of installation stimulate demand [en línea]. En: Plastics Engineering. Society of Petroleum Engineering. p. 3. 2005. [Consultado: 23,enero,2016]. Disponible en [https://plasticpipe.org/pdf/plastic\\_pipe\\_corrosion\\_resistant.pdf](https://plasticpipe.org/pdf/plastic_pipe_corrosion_resistant.pdf)

TÁVARA, Raúl. Propuesta de Reciclaje Mecánico de Plásticos en la Ciudad de Piura. Repositorio Institucional PRIHUA – Universidad de Piura. Perú. 2004.

TÉLLEZ, Alejandra. La Complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá. Bogotá. 2014.

WASHCO, Adrián, La reutilización de elementos plásticos reciclables como un giro estético ante la contaminación, Cuenca. 2010.

WEBER, Carlos. *et al.* Ambiente Ecológico. Revista Educación Ambiental No. 54, Guía 54. Gobierno de Chile. Diciembre 2004.

WELLE, Frank. Develop a food grade HPDE recycling process. Fraunhofer Institute for Process Engineering and Packaging (IVV). The Waste & Resources Action Programme. Oxon UK. 2005.

ZACHARY, D. On the sustainability of an activity. Scientific Report No. 4 – Article No. 5215. [electrónico]. 2004. [consultado: 16, octubre, 2016]. Disponible en: <http://www.nature.com/articles/srep05215>.