

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO CON FINES DE ELABORACIÓN DE UNA NORMATIVA TÉCNICA PARA LA FABRICACIÓN DE TUBERÍA PARA ALCANTARILLADO.

Edison Moya-Jiménez*

*Estudiante de Maestría en Gestión Ambiental para la Industria de la Universidad Internacional SEK.
Ingeniero en Turismo de la Universidad Autónoma de Quito, Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador
Director del Departamento de Gestión de Desarrollo Sustentable del Gobierno Autónomo
Descentralizado Municipal del Cantón Pedro Vicente Maldonado

Correspondencia:

Edison Moya Jiménez

Av. Pichincha s/n y Calle 4, Departamento de Gestión de Desarrollo Sustentable, Gobierno Municipal de
Pedro Vicente Maldonado, Pedro Vicente Maldonado, Pichincha, Ecuador.

Tel. (593) 2392282 Ext. 219, Cel. 0980828746

edisonmoya83@hotmail.com

RESUMEN.

El presente artículo contiene un estudio de las características físicas y químicas del polietileno de alta densidad reciclado con el fin de brindar una correcta disposición final de los residuos sólidos compuestos de éste material utilizándolo como materia prima para la fabricación de tubería para alcantarillado, demostrando la viabilidad de proponer una norma técnica que permita la fabricación, comercialización y utilización de dicha tubería en la industria de la construcción a la vez que reducimos la cantidad de residuos sólidos en los rellenos sanitarios.

Palabras clave: residuos sólidos, polietileno de alta densidad, tubería de alcantarillado, norma técnica.

ABSTRACT.

This article presents a study of the physical and chemical characteristics of recycled high density polyethylene in order to provide proper disposal of solid waste compounds of this material using it as a feedstock for the manufacture of sewer pipe, demonstrating the viability to propose a technical standard that allows the manufacture, marketing and use of the pipe in the construction industry while reducing the amount of solid waste in landfills.

Keywords: solid waste, high density polyethylene, sewer pipe, technical standard

INTRODUCCIÓN

El polietileno de alta densidad se ha convertido en un residuo sólido de especial importancia, sobre todo en los sectores urbanos del país y del mundo, ya que su composición química provoca una biodegradación muy lenta, ocasionando su acumulación en rellenos sanitarios y una ocupación de espacios que podrían ser utilizados para residuos que culminan su vida útil

y deben ser remitidos a disposición final.

El polietileno de alta densidad, como residuo sólido, proviene generalmente de envases de diferentes implementos de limpieza, los mismos que son vaciados y entregados a los vehículos de recolección de basura.

Según la Organización Panamericana de la Salud, en su documento "*Manejo de Residuos Sólidos Municipales (2006)*.

Lima, Perú”, el primer efecto de una inadecuada gestión del polietileno de alta densidad y de los plásticos en general, en calidad de desechos sólidos, es el deterioro de las ciudades y el paisaje natural, debido a que la disposición final es desordenada y de cercanía a las ciudades y, siendo un material de difícil biodegradación, será imposible no perder la calidad paisajística del lugar.

En relación al problema ambiental, cabe señalar que la basura en general es uno de los elementos protagónicos que deterioran el ambiente, afectando sus componentes bióticos, abióticos y antrópicos; un mal manejo de estos desechos desencadena una serie de afecciones que no permiten el desarrollo sano y un ambiente equilibrado de la comunidad en general.

La fabricación de tubería utilizando como materia prima el polietileno de alta densidad reciclado permitiría reducir significativamente la cantidad de residuos a dar disposición final en los rellenos sanitarios y aportaría a la industria de la construcción reduciendo los costos de producción y asegurando la calidad de los mismos mediante una normativa técnica que garantice al constructor una vida útil de 50 años y aportando al ambiente al reducir los impactos ambientales negativos que el PEAD produce en calidad de residuo sólido.

MATERIAL Y MÉTODO.

Para determinar la funcionabilidad de la tubería fabricada con PEAD reciclado, se establecieron dos procesos diferentes, el primero involucra el reciclado del PEAD y el segundo el proceso de fabricación de tubería, estos dos métodos son

considerados standard ya que se realizan de manera común en el país y se encuentran claramente identificados en diversas empresas, pero, luego de fabricar tubería de tres diámetros diferentes (200 mm, 600 mm y 1000 mm), tanto con PEAD reciclado como de virgen, se sometió a realizo ensayos en laboratorio de la densidad del PEAD reciclado, análisis físicos establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2360: 2004, la cual especifica las características técnicas que deben contener las tuberías fabricadas con PEAD virgen, siendo la misma muy rigurosa por las necesidades de la industria de la construcción requiere en sus obras civiles; cabe mencionar que los ensayos se realizaron en una máquina universal y fueron avalados por el laboratorio de hidráulica de la Universidad Central del Ecuador.

FIGURA 1: MÁQUINA UNIVERSAL REALIZANDO ENSAYO DE RIGIDEZ ANULAR



Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

Se analizó también las características químicas del agua contenida por 24 horas en muestras de tubería fabricada con PEAD virgen y con PEAD reciclado realizando posteriormente la

comparación respectiva, lo dicho, basado en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, específicamente en el Libro VI y sus anexos que disponen los métodos para determinar la calidad ambiental del recurso agua. Para culminar con el trabajo de investigación, se comparó los resultados obtenidos con las normas técnicas vigentes

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL PEAD VIRGEN Y RECICLADO.

Para determinar la composición óptima de fabricación de tubería de polietileno de alta densidad se determinó que la medición de la densidad era necesaria para ello, con el afán de realizar un correcto análisis de la eficiencia del pelet de polietileno de alta densidad, se realizó un muestreo de cuatro tipos de pelets:

- Muestras de pelets 100 % de polietileno de alta densidad virgen.
- Muestras de pelets 75 % de polietileno de alta densidad virgen y 25% de polietileno de alta densidad reciclado.
- Muestras de pelets 50% de polietileno de alta densidad virgen y 50% de polietileno de alta densidad reciclado.
- Muestras de pelets de 25% de polietileno de alta densidad virgen y 75% de polietileno de alta densidad reciclado.
- Muestras de pelets 100% de polietileno de alta densidad reciclado.

La metodología fue la siguiente: se tomó un líquido en el cual el polietileno de alta densidad reciclado y virgen se identifique como más denso (gasolina); se colocó una cantidad de 100 ml de

gasolina en un vaso de precipitación y se midió su masa, a continuación se colocó las muestras de polietileno de alta densidad en sus diferentes composiciones; la diferencia de volúmenes determinó la densidad del material.

DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA TUBERÍA FABRICADA CON PEAD RECICLADO.

Las características fundamentales que deben cumplir los tubos plásticos para alcantarillado, son mecánicas; estas se encuentran especificadas en la norma NTE INEN 2360:2004, para tuberías de PEAD de pared estructurada e interior lisa; que cumplen con los requerimientos de los usuarios de esta tubería.

Dentro de las características mecánicas que deben cumplir los tubos están las siguientes:

- Rigidez Anular.
- Aplastamiento entre Placas.
- Resistencia al Impacto.

Según la norma INEN 2 360:2004, para que una tubería pase el ensayo de rigidez anular, la muestra ensayada no debe sobrepasar el 3% del diámetro nominal de la misma, entendiéndose como diámetro nominal, al promedio del diámetro interno de tres medidas tomadas a la muestra de tubería. Para la investigación, como se mencionó en líneas anteriores, se fabricó tubería de tres diámetros diferentes en composiciones también diferentes, generando resultados positivos para la investigación; para facilitar el entendimiento de los análisis de rigidez anular, se realizó la siguiente tabla la cual se explicará detenidamente, para de esa manera proceder a detallar los

muestreos realizados y los resultados obtenidos de cada ensayo realizado.

Aplastamiento entre placas es ejercer una carga entre placas a una velocidad determinada para que el diámetro interno de la tubería se haya reducido al 40% en un lapso de dos a cinco minutos, se la realiza con una prensa o con una máquina universal de manera uniforme sobre la muestra; según la norma INEN 2 360:2004, para que una tubería pase el ensayo de aplastamiento entre placas, la muestra ensayada debe llegar hasta 40% del diámetro nominal de la misma con una carga proporcionada por una máquina universal en un lapso de dos a cinco minutos.

La resistencia al impacto es la verificación de la resistencia que una muestra puede soportar a un impacto; para estar acorde a la norma de verificación, se ha estipulado que la energía de impacto en Joules (J) ($\text{kg m}^2/\text{s}^2$) de 108 J para la tubería de un diámetro de 200 mm, mientras para las tuberías de diámetro de 600 mm y de 1000 mm se aplicará una energía de impacto de 189 Joules; la diferencia viene dada por la altura a recorrer de una baliza de 10 kg en producto con la gravedad antes de impactar contra la muestra testada.

DETERMINACIÓN DE LA MIGRACIÓN DE MATERIALES AL AGUA CONTENIDA EN TUBERÍA FABRICADA CON PEAD RECICLADO.

Para la presente investigación, se entenderá como migración de materiales al intercambio de componentes químicos o biológicos desde la tubería fabricada hacia el agua contenida en la misma, para lo que, se realizó análisis de laboratorio del agua contenido por el lapso mínimo de 24 horas para las muestras de 100%

virgen y de 100% reciclado, la cual deberá estar bajo los parámetros establecidos en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, entendiéndose como contaminación biológica, la migración desde la muestra fabricada hacia el agua que contiene de algún parámetro de origen biológico que pueda alterar la calidad de agua contenida en dicho envase, especialmente coliformes totales y fecales. Cabe recalcar que los análisis fueron realizados por un laboratorio acreditado por el Organismo de Acreditación Ecuatoriana. No se tomaron muestras para analizar contaminación biológica porque la materia prima es del mismo lote, tanto la reciclada como la virgen, dando por hecho que los resultados obtenidos de las muestras 100% puras se aplican para las muestras restantes. Contaminación química, la misma que se basó también en un análisis de laboratorio del agua contenida por el lapso mínimo de 24 horas para las muestras 100% virgen y de 100% reciclado, la cual deberá estar bajo los parámetros establecidos en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, entendiéndose como contaminación química a la migración que pudiera existir de agentes químicos encontrados en la tubería hacia el agua contenida, los resultados se compararán con los contenidos en la Tabla N° 11 del Libro VI del TULSMA, siendo los parámetros a analizar los siguientes:

TABLA No 1: FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO
PLAN DE PRUEBAS
MUESTREO

PARÁMETROS	UNIDADES
pH	
COLOR	Pt - Co
CADMIO	mg/L
PLOMO	mg/L
CLORO ACTIVO	mg/L
SÓLIDOS TOTALES	mg/L
DETERGENTES	mg/L

Fuente: Propio

Elaboración: Propio

RESULTADOS.

Luego de aplicar la metodología descrita en líneas anteriores, se obtuvieron diversas tablas para cada uno de los parámetros analizados, sin embargo, se pueden resumir textualmente de la siguiente forma:

En el ensayo de Rigidez Anular, las muestras tanto de tubería fabricada con PEAD virgen como las fabricadas con PEAD reciclado tienen un comportamiento estable al ser puestas a prueba con una carga determinada, lo dicho para todas las tuberías ensayadas o sometidas al proceso que exige la norma, la diferencia se destaca en que, la tubería de PEAD virgen necesita una carga superior, que no es mayor de 0,03 kN, para hacer que la tubería llegue a una deflexión del 3% de su diámetro nominal (en este caso 600 mm.), lo que podría interpretarse como que la calidad puede ser superior pero por márgenes mínimos en comparación de la tubería fabricada de PEAD reciclado.

En el ensayo de Aplastamiento entre Placas la tubería fabricada con PEAD reciclado tiene un comportamiento de deflexión similar a la de la tubería fabricada con PEAD virgen.

En el ensayo de Resistencia al Impacto se determina que ninguna de las muestras tanto de material virgen como de reciclado presentó falla

alguna, por lo que se puede concluir que la tubería fabricada de PEAD reciclado al menos mantiene la misma calidad de la tubería fabricada con PEAD virgen.

Al haberse determinado que la composición óptima para fabricar tubería de PEAD está dada por cualquiera de las condiciones puras de fabricación (sean estas 100 % polietileno de alta densidad virgen o 100% de polietileno de alta densidad reciclado), se realizaron los ensayos de migración de materiales sobre las dos muestras mencionadas, dando como resultado que en ninguna de las dos muestras existe migración de materiales desde el tubo hacia el agua utilizada para el ensayo y que los principales parámetros tomados en consideración para el muestreo se encuentran bajo los límites exigidos por la norma extendida en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA vigente.

Cabe recalcar que también se analizaron los costos de producción de tubería de PEAD reciclado y se compararon con los costos de producción de la tubería fabricada con PEAD virgen, arrojando como resultado que el porcentaje de ahorro al fabricar usando como materia prima el PEAD reciclado es del 30,5%.

CONCLUSIONES.

Luego de realizar el trabajo de investigación correspondiente, se ha determinado que los análisis, ensayos, estudios y demás han arrojado las siguientes conclusiones:

- La fabricación de tubería de polietileno de alta densidad reciclado es completamente viable, puesto que presenta el material las condiciones adecuadas para ello, facilitando al aumentar la

- temperatura de fabricación, una resina de densidad superior a 0,86 g/cm³, superior a lo establecido por la norma que dispone que la densidad mínima sea de 0,84 g/cm³.
- a) La fabricación de tubería de polietileno de alta densidad reciclado no difiere en proceso alguno con la fabricación de tubería de polietileno de alta densidad virgen, lo que hace que dicho procedimiento sea completamente conocido para la fábrica que busque implementar la sustitución de materia prima.
 - b) La tubería fabricada de polietileno de alta densidad reciclado sometida al ensayo de Rigidez Anular tiene un comportamiento estable en los diámetros muestreados, siendo las cargas iguales o superiores a las soportadas por la tubería de polietileno de alta densidad virgen para conseguir la deflexión dispuesta por la Norma INEN 2 360:2004, lo que indica que la calidad al menos es la misma en las dos tuberías muestreadas.
 - c) La deflexión exigida para el ensayo de Aplastamiento entre Placas por norma (40% del diámetro nominal de la tubería), tanto en la tubería de polietileno de alta densidad virgen, como en la tubería de polietileno de alta densidad reciclado, cumple con lo dispuesto en la Norma INEN 2 360:2004, siendo éste resultado la base para certificar que la tubería realizada con materia prima reciclada cumple con los requerimientos de calidad que cualquier constructor puede exigir, siendo ésta completamente adaptable a las exigencias interpuestas en obras sanitarias.
 - d) No existe migración de materiales desde la tubería fabricada de polietileno de alta densidad reciclado hacia el agua que pudiera contenerse o trasladarse por la misma, lo dicho se puede afirmar vistos los resultados del análisis de agua realizados para las muestras denominadas: "Agua en tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado luego de 24 horas de residencia" y "Agua circulando en Tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado a una Velocidad de 2 metros por segundo" y comparados con la tabla 11 detallada en el Anexo A del Libro VI del Texto unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente, la misma que describe los límites máximos permisibles para descarga de aguas en el alcantarillado público, denotando de esa manera, la seguridad de descargar aguas acorde a la normativa ambiental vigente ocasionadas claro, por migración de materiales desde la tubería de polietileno de alta densidad reciclado.
 - e) La fabricación de tubería polietileno de alta densidad reciclado únicamente difiere sustancialmente del proceso de fabricación de tubería de polietileno de alta densidad virgen, en los costos de producción, ya que se reduce el mismo en un 30%, generando ahorros sustanciales en el proceso de fabricación.
 - f) No existe una normativa técnica que brinde una guía de cumplimiento de calidad de la tubería fabricada de polietileno de alta densidad reciclado, por lo dicho, es imposible buscar un

parámetro de comparación de la tubería fabricada para esta investigación; pero, se ha realizado la comparación con la Norma Técnica INEN 2 360:2004, la cual es una norma que rige para la tubería de polietileno de alta densidad virgen; cumpliendo también con las exigencias que esta norma dicta.

RECONOCIMIENTOS.

El autor del presente documento agradece el infinito apoyo brindado por la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK a través de su Decana, la Ing. Katty Coral MSc, quien ha sido pilar fundamental para el desarrollo de este trabajo; así también agradezco el apoyo con laboratorios, materiales, personal técnico y personal no calificado de la empresa TUBERTOR, quienes han brindado su confianza y apoyo para realizar el presente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Tchobanoglous, G. (1993). *Integrated solid waste management* España: Editorial McGraw Hill

Umaña, G. y Cáceres, M. (2003). *Manejo de Residuos Sólidos Municipales*. San Salvador/ El Salvador: Editorial AIDIS CARE.

Armas, Santiago. (2006). *Breve Acercamiento a la Realidad de los Residuos Sólidos y su Disposición Final*. Quito/ Ecuador.

Steiner, M. (2008). *El Libro de la Basura. Guía para la Gestión de Residuos Sólidos*. Santiago de Chile: Editorial CLAGSA

Boix Sanfeliu, A. (2005). *Contaminación y Medio Ambiente* España: Editorial Castellón

Castillo, F., Roldán M., Blasco P., Caballero F., Huertas M., Conrado V., Luque M. (2005). *Biotechnología Ambiental* Madrid: Editorial Tébar

Mac Donald, J. y Simioni D. (1999). *Desarrollo Sustentable de los Asentamientos Humanos: Logros y Desafíos de las Políticas Habitacionales y Urbanas de América Latina y El Caribe*. Santiago de Chile: NACIONES UNIDAS, COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA