

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO

Proyecto técnico:

“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE FLUIDEZ, TORQUE MÁXIMO Y TEMPERATURA DE DEGRADACIÓN, DE RESIDUOS PLÁSTICOS PROVENIENTES DE LA REPRESA DANIEL PALACIOS, UBICADA EN EL CANTÓN PAUTE, PROVINCIA DEL AZUAY”

Autores:

Edison Xavier Sangurima Chunchi

Felipe Mauricio Maldonado Tapia

Tutor:

Ing. Luis López López

Cuenca – Ecuador

2018

Cesión de Derechos de Autor

Nosotros Edison Xavier Sangurima Chunchi con documento de identidad N° 0106640998 y Felipe Mauricio Maldonado Tapia con documento de identidad N° 0103811295 manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos los autores del trabajo de titulación: “**Determinación del índice de fluidez, torque máximo y temperatura de degradación, de residuos plásticos provenientes de la represa Daniel Palacios, ubicada en el cantón Paute, provincia del Azuay**”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Edison Xavier Sangurima Chunchi

C.I.: 0106640998



Felipe Mauricio Maldonado Tapia

C.I.: 0103811295

Certificación

Yo declaro que bajo mi tutoría, fue desarrollado el trabajo de titulación: ***“Determinación del índice de fluidez, torque máximo y temperatura de degradación, de residuos plásticos provenientes de la represa Daniel Palacios, ubicada en el cantón Paute, provincia del Azuay”***, realizado por: Edison Xavier Sangurima Chunchi y Felipe Mauricio Maldonado Tapia, obteniendo el “Proyecto Técnico”, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca 30 de noviembre del 2018



Luis Marcelo López López

C.I.: 0102906971

Declaratoria de Responsabilidad

Nosotros Edison Xavier Sangurima Chunchi con documento de identidad N° 0106640998 y Felipe Mauricio Maldonado Tapia con documento de identidad N° 0103811295, autores del trabajo de titulación: ***“Determinación del índice de fluidez, torque máximo y temperatura de degradación, de residuos plásticos provenientes de la represa Daniel Palacios, ubicada en el cantón Paute, provincia del Azuay”***, certificamos que el total contenido del “Proyecto Técnico”, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.



Edison Xavier Sangurima Chunchi

C.I.: 0106640998



Felipe Mauricio Maldonado Tapia

C.I.: 0103811295

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado

A mi Dios todo poderoso que es mi luz, el que me guía por el camino del bien, el que me da la fuerza necesaria para salir adelante y no desmayar en el camino cada día de mi vida y el que cuida y protege a todos mis seres queridos,

A mi padre que me ha enseñado la responsabilidad por sobre todas las cosas, quien a pesar de la distancia siempre me recordó el valor de ser "PADRE" y el deber de ser hijo,

A mi madre que me ha enseñado a ser un hombre justo, y que con su amor y apoyo incondicional ha hecho de mí un ser humano de principios y luchador de los buenos principios, y nunca rendirme antes las adversidades de la vida,

A mi tía Luisa quien me ha enseñado a encarar las adversidades de la vida sin perder nunca la dignidad quien me ha permitido a través de su ejemplo me convierta en una persona de principios y valores,

A mis hermanas que siempre estuvieron allí brindándome su apoyo entre risas y tormentos, a mis sobrinos que son la luz de mi vida que son quienes siguen mis pasos y son mi mayor motivación,

A Maribel Zhagui que es la persona que me a brindad su apoyo y amor incondicional quien es un motivo de lucha y superación y unos de los pilares fundamentales en mi vida.

Edison

DEDICATORIA

Dedico este proyecto principalmente a Dios, el por el permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, el cual es haber culminado mi formación universitaria, a mi madre Luisa por ser la persona más importante en mi vida y enseñarme jamás a darme por vencido pese a las adversidades y demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mi padre, Segundo, ya que fue una gran ayuda para nosotros, con su perseverancia y con todas sus ganas de seguir adelante es un gran ejemplo a seguir, a mi motor, mi hija Sofía que gracias a ella he seguido adelante y al pesar de ser muy pequeña aún ,sus consejos me permiten mantenerme centrado y no rendirme jamás, a mis hermanos, Camila, Jorge y Mercedes que me aconsejaron a nunca dejarme vencer por las adversidades, a Gabriela por haber estado ahí en los momentos buenos y malos y junto con mi hija ser una gran ayuda durante todo este tiempo, a mi familia y amigos presentes en el extranjero que me permitieron mantenerme en su hogar durante ese tiempo.

Felipe.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco a mi familia por haberme brindado todo el apoyo durante este proceso de formación profesional, a mi madre que con sus consejos me permitieron seguir adelante durante este tiempo, a mi padre que con su comprensión y apoyo me permitieron superar muchas adversidades, a mis hermanos por su apoyo incondicional, a mi hija Sofía y a su madre Gabriela, que estuvieron en los momentos buenos y malos durante el transcurso de mi vida estudiantil.

A mi director de tesis, Ing. Luis Marcelo López, y al PhD Efrén Vazquez Silva por su apoyo durante el transcurso de la carrera y en el desarrollo de este trabajo final.

Al grupo de investigación GiMat y a todos sus miembros, por permitirme desarrollar este proyecto técnico en sus líneas de investigación.

A todos mis compañeros de clase, en especial a mi gran amigo Edison que con su gran ayuda en la universidad y con sus consejos se pudo obtener al fin la culminación de nuestra carrera.

Felipe.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de alcanzar una más de mis metas anheladas, por bendecirme a cada momento y por permitirme compartir muchos momentos de felicidad, quien a pesar de que no lo recuerde a diario él siempre lo hace.

A mi familia por todo el apoyo brindado que son mi fuerza, a mi padre quien con sus consejos supo guiarme por el camino del bien a mi madre quien con su apoyo me enseñó a luchar para alcanzar las metas, y volver a plantearme metas mucho más altas.

A mi director de tesis Luis López, por el apoyo y dedicación, por su visión técnica y crítica en muchos aspectos de la vida cotidiana, por sus palabras de apoyo y consejos que ayudan a formarte como persona y profesional, quien con su conocimiento y motivación ha logrado que pueda concluir con éxito mi proyecto.

Al grupo GImAT y todos sus colaboradores por facilitarnos los medios necesarios para poder llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de este proyecto.

A todos mis compañeros y amigos que han formado parte durante de mi proceso formativo y con quienes hemos compartido momentos de alegría.

A todas las personas que de una u otra manera han estado apoyándome siempre y quienes me impulsan a seguir alcanzando metas mucho más altas.

Edison

Resumen

Ante la creciente necesidad de contribuir al cuidado del medio ambiente y reducir en gran medida el uso de material polimérico virgen, haciendo uso de material reciclado en la industria de los plásticos, el presente proyecto técnico realiza una caracterización reológica de los residuos plásticos provenientes de la repesa Daniel Palacio ubicada en el cantón Paute de la provincia del Azuay, obteniendo como resultados de análisis el Índice de fluidez, el torque máximo y la temperatura de degradación de los mismos, ya que son los principales parámetros a tomar en cuenta durante el proceso de producción de materiales poliméricos.

Los materiales a analizar son el PEAD y el PP, ya que son los de mayor comercialización en nuestro medio, exceptuando el PET y el PVC. De estos materiales se realizó una clasificación visual para separar por colores, además de una clasificación física de envejecimiento (nuevo – viejo) para facilitar su estudio.

Los resultados obtenidos de MFI muestra un gran desfase, esta variación es más notoria para los materiales de PEAD de color amarillo, blanco y negro tanto en nuevos como en viejos, mientras que para los de color azul, rojo y plomo es mínima, por otro lado, los materiales de PP no presentan una mayor variabilidad en su índice de fluidez, los aditivos presentes en cada uno de los envases analizados también influyen en los resultados obtenidos ya que no se conoce el tipo de aditivo utilizado ni la función que cumple en la matriz polimérica.

El torque máximo y la temperatura de degradación no se ven afectados por el tiempo en que el envase haya estado expuesto a las condiciones climáticas externas, en tanto que el torque máximo se ve afectado por el tamaño del pellet a utilizar, ya que mientras más grande es el tamaño de pellet, mayor energía se necesita para su procesamiento. La temperatura de degradación necesaria para el PP tiene un rango de variación de apenas 3 °C en tanto que para el PEAD el rango de variación de temperatura es de 19 °C.

Abstract

Facing the current need of contribute to the environmental protection and reduce in great measure the use of new polymeric material, using recycled material from the plastic industry, the current technical project makes a rheological characterization about the plastic waste produced from Daniel Palacio's Hydroelectric Plant, located in Paute City; Province of Azuay, resulting in the analysis of flow index, maximum torque and degradation temperature, main parameters in the polymeric material production process.

Materials subject of analysis are PEAD and PP, because of them high commercialization level around our location, except PET and PVC. These materials were subjected to a visual classification, to separate by colors, as well as an aging physical classification (new - old) to facilitate the study.

The FMI obtained results shows a big gap, this variation is more notorious for yellow, white and black PEAD materials, both new and old, while minimum for red and lead colored; on the other hand, the PP materials do not show a big flow index variability, the existing additives in each of the analyzed plastic packaging also influence in the obtained results, since we do not know the used additive kind, neither it's function in the polymeric matrix.

The maximum torque and the degradation temperature are not affected by the time of external climatic conditions, while the maximum torque is affected by the pellet size to use, the more size will need more process energy. The degradation temperature for the PP has a range of variation of barely 3° Celsius, while for PEAD, the range of variation is 19° Celsius.

Índice

INDICE

1. Introducción	7
1.1. Problema	8
1.1.1. Antecedentes	8
1.1.2. Importancia y Alcance	10
1.1.3. Delimitación	10
1.1.4. Problema General	11
1.1.5. Problemas específicos.	11
2. GRUPO OBJETIVO (BENEFICIARIOS).	11
2.1. OBJETIVOS.	11
2.1.1. Objetivo general.	11
2.1.2. Objetivos específicos.	11
3. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	12
4. Marco Teórico Referencial.	13
4.1. Embalses o represas.....	13
4.1.1. Embalses.....	13
4.1.2. Impacto Ambiental.....	13
4.2. MFI o índice de fluidez	15
4.2.1. Torque máximo	15
4.2.2. Temperatura de degradación.....	15
4.2.3. Equipo Melt Flow Indexer	15
4.3. Viscosidad dinámica	16
4.3.1. Variación de la viscosidad con la temperatura	18
4.3.2. Variación de la viscosidad con respecto a la presión	18
4.4. Equipo Plastógrafo	19
4.4.1. Resistencia a la cizalla	19
4.4.2. Módulo de Cizalla.	20
4.4.5. Degradación de los materiales poliméricos.	21
4.4.6. Temperatura de degradación de los polímeros	22
4.5. Producción de polímeros	22
4.5.1. Melt Flow recomendado	22
4.5.2. Aditivación.....	23

5.	PROPUESTAS DE SOLUCIÓN	24
6.	METODOLOGÍA.....	24
6.1.	Metodología de la Investigación	24
6.2.	Metodología de proceso:	25
6.2.1.	Recolección de muestras:.....	25
6.2.2.	Pruebas de Melt index:	25
6.2.3.	Pruebas de Plastógrafo:	26
6.3.	Metodología estadística	26
6.3.1.	MUESTRA:.....	26
6.3.2.	Tamaño de la muestra:.....	27
7.	Resultados y discusiones.....	28
7.1.	Resultados	28
7.1.1.	Reometría MFI:.....	28
7.1.2.	Resultado Plastógrafo:	51
7.2.	Análisis y Discusión:.....	53
7.2.1.	MFI.....	53
7.2.2.	Torque Máximo	56
7.2.3.	Temperatura de degradación.....	59
8.	Conclusiones y recomendaciones:	60
8.1.	Conclusiones:	60
8.2.	Recomendaciones	60
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

Lista de figuras

Figura 1. Producción global de plásticos desde 1950 hasta 2016. [47]	7
Figura 2. Embalse de la represa Daniel Palacios.....	9
Figura 3. Contaminación en la represa Daniel Palacios.	14
Figura 4. Emisiones de gas metano procedente de embalses. [27]	14
Figura 5. Equipo Melt Flow Index.	16
Figura 6. Curva de flujo de fluidos. [37].....	17
Figura 7. Dependencia de la viscosidad respecto a la temperatura. [36]	18
Figura 8. Comportamiento de la viscosidad frente al tiempo. [36]	18
Figura 9. Equipo Plastógrafo Brabender.	19
Figura 10. Medición del esfuerzo cortante. [39].....	20
Figura 11: Curva de polímeros, Temperatura vs. Volumen. [39].....	22
Figura 12. Metodología del proceso de recolección de muestras.	25
Figura 13. Proceso de obtención de resultados en Melt Index.	25
Figura 14. Proceso de obtención de resultados en el Plastógrafo.	26
Figura 15. MFI del PEAD recolectado en la semana 1, color amarillo.	28
Figura 16. MFI del PEAD recolectado en la semana 1, color negro.	29
Figura 17. MFI del PEAD recolectado en la semana 1, color rojo.....	29
Figura 18. MFI del PEAD recolectado en la semana 2, color amarillo.	30
Figura 19. MFI del PEAD recolectado en la semana 2, color azul.	30
Figura 20. MFI del PEAD recolectado en la semana 2, color blanco.....	31
Figura 21. MFI del PEAD recolectado en la semana 2, color negro.	31
Figura 22. MFI del PEAD recolectado en la semana 2, color rojo.....	32
Figura 23. MFI del PP recolectado en la semana 2.....	32
Figura 24. MFI del PEAD recolectado en la semana 3, color amarillo.	33
Figura 25. MFI del PEAD recolectado en la semana 3, color azul.	33
Figura 26. MFI del PEAD recolectado en la semana 3, color blanco.....	34
Figura 27. MFI del PEAD recolectado en la semana 3, color rojo.....	34
Figura 28. MFI del PEAD recolectado en la semana 4, color amarillo.	35
Figura 29. MFI del PEAD recolectado en la semana 4, color blanco.....	35
Figura 30. MFI del PEAD recolectado en la semana 4, color rojo.....	36
Figura 31. MFI del PEAD recolectado en la semana 4, color negro.	36
Figura 32. MFI del PEAD recolectado en la semana 4, color plomo.	37
Figura 33. MFI del PP recolectado en la semana 4.....	37
Figura 34. MFI del PEAD recolectado en la semana 5, color amarillo.	38
Figura 35. MFI del PEAD recolectado en la semana 5, color blanco.....	39
Figura 36. MFI del PEAD recolectado en la semana 5, color rojo.....	39
Figura 37. MFI del PEAD recolectado en la semana 5, color negro.	40
Figura 38. MFI del PEAD recolectado en la semana 5, color plomo.	40
Figura 39. MFI del PP recolectado en la semana 5.....	41
Figura 40. MFI del PEAD recolectado en la semana 6, color amarillo.	42
Figura 41. MFI del PEAD recolectado en la semana 6, color blanco.....	42
Figura 42. MFI del PEAD recolectado en la semana 6, color negro.	43
Figura 43. MFI del PEAD recolectado en la semana 6, color azul.....	43
Figura 44. MFI del PP recolectado en la semana 6.....	44

Figura 45. MFI del PEAD recolectado en la semana 7, color amarillo.	45
Figura 46. MFI del PEAD recolectado en la semana 7, color blanco.....	45
Figura 47. MFI del PEAD recolectado en la semana 7, color negro.	46
Figura 48. MFI del PEAD recolectado en la semana 7, color azul.	46
Figura 49. MFI del PP recolectado en la semana 7.....	47
Figura 50. MFI del PEAD recolectado en la semana 8, color amarillo.	48
Figura 51. MFI del PEAD recolectado en la semana 8, color blanco.....	48
Figura 52. MFI del PEAD recolectado en la semana 8, color plomo.	49
Figura 53. MFI del PEAD recolectado en la semana 8, color rojo.....	49
Figura 54. MFI del PEAD recolectado en la semana 8, color negro.	50
Figura 55. MFI del PP recolectado en la semana 8.....	50
Figura 56. Curvas de Torque y Temperatura con respecto al tiempo.	51
Figura 57. Comparación de resultados del MFI, color amarillo.....	53
Figura 58. Comparación de resultados del MFI, color azul.	54
Figura 59. Comparación de resultados MFI, color blanco.	54
Figura 60. Comparación de resultados MFI, color negro.....	55
Figura 61. Comparación de resultados MFI, color plomo.	55
Figura 62. Comparación de resultados MFI, color rojo.	56
Figura 63. Comparación de resultados MFI, PP.	56
Figura 64. Variación del Torque Máximo para el PEAD de color amarillo.	57
Figura 65. Variación del Torque Máximo para el PEAD de color azul.....	57
Figura 66. Variación del Torque Máximo para el PEAD de color blanco.	58
Figura 67. Variación del Torque Máximo para el PEAD de color negro.....	58
Figura 68. Variación del Torque Máximo para el PEAD de color rojo.....	59

Listado de tablas

Tabla 1. Matriz de Consistencia planteada.....	12
Tabla 2. Viscosidades distintos materiales a temperatura ambiente y presión atmosférica. [37].....	17
Tabla 3. Velocidades de cizalla de los diferentes procesos de transformación. [37]....	17
Tabla 4. Módulo de elasticidad de los polímeros más comerciales. [40].....	21
Tabla 5. Agentes externos y tipo de degradación causada en los materiales poliméricos. [41]	21
Tabla 6. MFI recomendado para los diferentes procesos de operación. [45].....	23
Tabla 7. Diferentes aditivos para plásticos. [36].....	24
Tabla 8. Características del PEAD y PP ante aplicación de llama.	26
Tabla 9. Rango de MFI para el PEAD de color amarillo, semana 1.	28
Tabla 10. Rango de MFI para PEAD de color negro, semana 1.....	29
Tabla 11. Rango de MFI para el PEAD de color rojo, semana 1.	29
Tabla 12. Rango de MFI para PEAD color amarillo, semana 2.....	30
Tabla 13. Rango de MFI para PEAD color azul, semana 2.	30
Tabla 14. Rango de MFI para PEAD de color blanco, semana 2.	31
Tabla 15. Rango de MFI para PEAD de color negro, semana 2.....	31
Tabla 16. Rango de MFI para PEAD de color rojo, semana 2.	32
Tabla 17. Rango de MFI para PP de color rojo y negro, semana 2.....	32
Tabla 18. Rango de MFI para PEAD de color amarillo, semana 3.	33
Tabla 19. Rango de MFI para PEAD de color azul, semana 3.....	33
Tabla 20. Rango de MFI para PEAD de color blanco, semana 3.	34
Tabla 21. Rango de MFI para PEAD de color rojo, semana 3.	34
Tabla 22. Rango de MFI para PEAD de color amarillo, semana 4.....	35
Tabla 23. Rango de MFI para PEAD de color blanco, semana 4.	35
Tabla 24. Rango de MFI para PEAD de color rojo, semana 4.	36
Tabla 25. Rango de MFI para PEAD de color rojo, semana 4.	36
Tabla 26. Rango de MFI para PEAD de color plomo, semana 4.	37
Tabla 27. Rango del MFI para el PP, semana 4.....	37
Tabla 28. Rango de MFI para PEAD de color amarillo, semana 5.....	38
Tabla 29. Rango de MFI para PEAD de color blanco, semana 5.	39
Tabla 30. Rango de MFI para PEAD de color rojo, semana 5.	39
Tabla 31. Rango de MFI para PEAD de color negro, semana 5.....	40
Tabla 32. Rango de MFI para PEAD de color plomo, semana 5.....	40
Tabla 33. Rango de MFI para el PP, recolectado en la semana 5.	41
Tabla 34. Rango de MFI para PEAD de color amarillo, semana 6.	42
Tabla 35. Rango de MFI para PEAD de color blanco, semana 6.	42
Tabla 36. Rango de MFI para PEAD de color negro, semana 6.....	43
Tabla 37. Rango de MFI para PEAD de color azul, semana 6.....	43
Tabla 38. Rango de MFI para el PP, recolectado en la semana 6.	44
Tabla 39. Rango de MFI para PEAD de color amarillo, semana 7.....	45
Tabla 40. Rango de MFI para PEAD de color blanco, semana 7.	45
Tabla 41. Rango de MFI para PEAD de color negro, semana 7.....	46
Tabla 42. Rango de MFI para PEAD de color azul, semana 7.....	46

Tabla 43. Rango de MFI para el PP, recolectado en la semana 7.	47
Tabla 44. Rango de MFI para PEAD de color amarillo, semana 8.	48
Tabla 45. Rango de MFI para PEAD de color blanco, semana 8.	48
Tabla 46. Rango de MFI para PEAD de color plomo, semana 8.	49
Tabla 47. Rango de MFI para PEAD de color rojo, semana 8.	49
Tabla 48. Rango de MFI para PEAD de color negro, semana 8.	50
Tabla 49. Rango de MFI para el PP, recolectado en la semana 8.	50
Tabla 50. Rango de temperaturas de degradación.	59

Determinación del índice de fluidez, torque máximo y temperatura de degradación, de residuos plásticos provenientes de la represa Daniel Palacios ubicada, en el cantón Paute, provincia del Azuay

1. Introducción

En la actualidad la utilización de productos plásticos se ha incrementado cada día más debido a la gran demanda existente en el mercado [1,2], se estiman que la producción de plásticos crece en un porcentaje del 4% anual debido al crecimiento de la población mundial y la utilización de dichos productos para satisfacer necesidades y contribuir al desarrollo de la sociedad [3].

La producción de polímeros a nivel mundial ha mantenido un crecimiento constante desde 1950 en ese año se registró una producción de 1.7 millones de toneladas y según datos recabados hasta el año 2016 la producción de materiales poliméricos fue de 335 millones de toneladas como se puede observar en la figura 1, el crecimiento de dichos polímeros ha sustituido a un gran número de materiales tradicionales tales como el acero, el aluminio y el bronce [4,5,6,7].

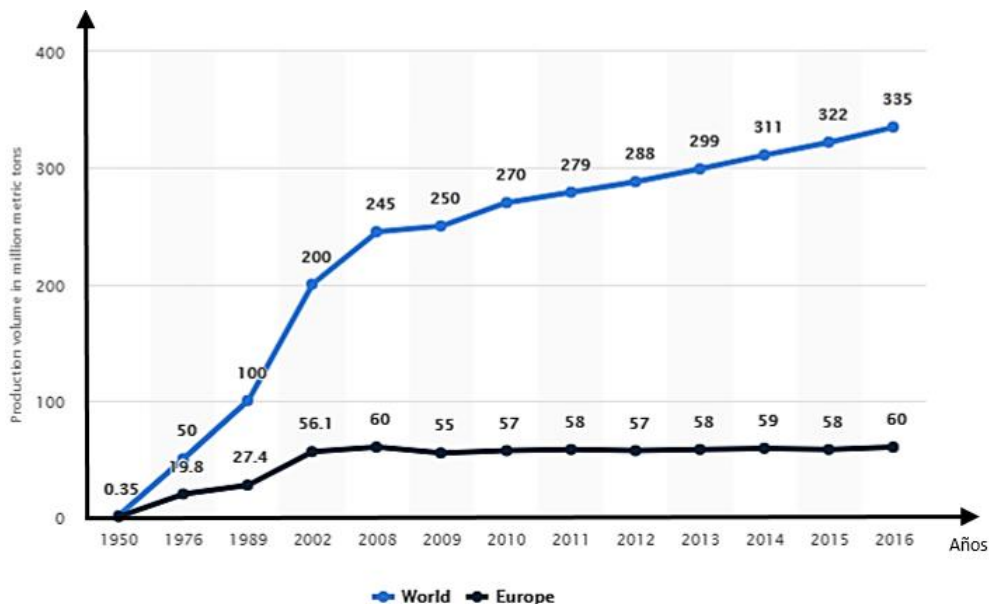


Figura 1. Producción global de plásticos desde 1950 hasta 2016. [47]

Cada objeto que se fabrique a partir de un material polimérico debe tener propiedades tanto físicas, químicas y mecánicas para el cumplimiento correcto de su función, los polímeros como tales, no cuentan o no cumplen con todas las características necesarias

en su estado virgen, por lo cual para garantizar que el objeto a fabricar a partir de una matriz polimérica cumpla con todas las especificaciones planteadas al inicio de su producción, se debe agregar algún o algunos aditivos o reforzantes adicionales que garantizarán propiedades óptimas para su funcionamiento [8].

Dicha producción trae consigo un gran problema, que son los residuos que se generan luego de haber utilizado los productos que contienen dichos polímeros o que tales polímeros ya cumplieron su ciclo de vida, estos residuos son considerados como residuos sólidos urbanos (RSU) [9,10], y son mayormente el polietileno (PE) y polipropileno (PP) que conforman el 60% de los productos sólidos urbanos y en menor proporción está el poliestireno (PS), cloruro de polivinil (PVC), polietilentereftalato (PET), poliestireno-butadieno (PS-BD), poli(metacrilato de metilo) (PMMA) [11].

Estos RSU se generan a diario debido a que no se cuenta con algún tipo de norma que se encargue de regir el uso de dichos productos, haciendo aún más difícil la tarea de reciclado debido a la gran diversidad de materiales plásticos, diferente composición y colorantes usados durante el proceso [12].

Pese a que los materiales poliméricos presentan diferentes propiedades, también presentan desventajas y quizás una de las más importantes es que luego de haber sido utilizados, estos se convierten en residuos, los cuales van generando impactos medio ambientales, tales como la contaminación de áreas verdes, ríos, campos de cultivo, etc [13,14,15].

La contaminación medio ambiental que generan estos productos plásticos es de gran impacto tanto para la flora y fauna, debido a que dichos productos no son degradables y se demoran una gran cantidad de años para su descomposición además conforme pase el tiempo estos residuos se acumularán en grandes masas y no podrán ser eliminadas.

1.1. Problema

1.1.1. Antecedentes

Los embalses sirven para almacenar agua, pero también pueden tener muchos usos diferentes, pero no menos importantes en la generación de energía eléctrica por medio de las represas hidroeléctricas, estas centrales son grandes iconos de desarrollo económico, pero también podrían impedir el desarrollo sustentable debido a los grandes impactos ambientales y sociales que generan. Por ejemplo, uno de los principales impactos ambientales que se generan durante la construcción de los embalses es la afección y la alteración del ecosistema que se encuentra a su alrededor [15,16].

La central Hidroeléctrica de Paute tuvo sus primeros pasos en el año de 1914, en 1959 cuando en la provincia del Azuay y Cañar empezaron a sentir la crisis del sombrero de paja toquilla, que por más de un siglo se había constituido en base fundamental de la economía, los pobladores empezaron a migrar a la región costa y oriente con miras a la colonización agrícola, el senador Enrique Arizaga Toral, luego de ser electo presidente del Centro de Reconversión Económica del Azuay, Cañar y Morona Santiago lo primero que realizó fue una carretera al oriente para facilitar la migración a esa región, durante su construcción, el Ingeniero Daniel Palacios Izquierdo, que en aquel entonces formaba parte operativa de la construcción de la vía, se dio cuenta de la gran variación topográfica de la Cola de San Pedro y ya en 1961 informó de los resultados de su estudio en Amaluza [17].

Cuando se obtuvieron todos los requisitos necesarios de aquel entonces empieza la construcción de la represa sin tomar en cuenta la gran afección y contaminación que esta iba a producir durante y después de su construcción.

La contaminación ambiental que se genera en los embalses es muy alta, como se aprecia en la figura 2, y debido a la cantidad de desperdicios que se acumulan en las mallas de retención de residuos ubicados en lugares estratégicos para evitar que tales objetos dañen o afecten los equipos de las centrales hidroeléctricas, desde hace poco tiempo atrás se analiza la posibilidad de reducir estos impactos mediante la reutilización o reproceso de los desechos plásticos que se acumulan en el sector, para contribuir con el cuidado del medio ambiente y disminuir la contaminación, implementando procesos de reutilización y transformación de materiales reciclables [18,19,20].



Figura 2. Embalse de la represa Daniel Palacios ubicado en el cantón Guachapala, Provincia del Azuay

El presente proyecto se enmarca en la línea de investigación de nuevos materiales y procesos de manufactura del grupo GiMaT con el fin de establecer las propiedades reológicas tales como Torque Máximo, Temperatura de Degradación y el Índice de fluidez de los residuos plásticos provenientes de la represa Daniel Palacios para obtener

parámetros que permitan procesar correctamente los residuos y reducir la contaminación generada por los mismos.

1.1.2. Importancia y Alcance

Debido a que es imprescindible el uso de estos materiales, lo que se pretende es realizar una caracterización reológica para determinar los posibles procesos de transformación y hallar una forma de reutilizarlos en un gran porcentaje y reducir el uso de material virgen para el procesamiento de plásticos.

La presente investigación aportará en el campo de la ciencia con la caracterización reológica de los residuos plásticos más abundantes en la repesa, que servirá como punto de partida para trabajos futuros de investigación y procesamientos de este tipo de material.

En la actualidad se realizan grandes campañas para contribuir con el cuidado del medio ambiente y se crean leyes y ordenanzas que cada vez ayudan a disminuir el consumo de dichos materiales, pero aún sigue siendo un esfuerzo poco favorable ya que son varios años en los cuales los materiales plásticos se han acumulado y no pueden ser eliminados por completo sino hasta después de 200 años en el mejor de los casos. La reutilización y reproceso de estos materiales es un método muy eficaz que ayudará a reducir un gran porcentaje el nivel de contaminación existente.

La Universidad Politécnica Salesiana cuenta con el laboratorio de Ensayos de Polímeros equipado con todos los accesorios y equipos necesarios para la caracterización de los residuos plásticos mencionados.

1.1.3. Delimitación

El presente proyecto se desarrollará en los laboratorios de Ensayos de Polímeros de la Universidad Politécnica Salesiana que cuenta con los equipos Melt Flow Index y el Plastógrafo Brabender, con la ayuda de estos dos equipos se pretende proporcionar información valiosa y confiable que servirá en el campo de investigación y procesos de producción.

Durante la primera fase, la cual tendrá una duración de aproximadamente 4 meses, se realizará la recolección y ensayo de las muestras plásticas, esta recolección se dará en periodos de 15 días, durante los cuales se recolectará los principales residuos plásticos y que en mayor cantidad se encuentren presentes en el embalse de la represa Daniel Palacios clasificándolos en: apariencia física de envejecimiento (nuevo y viejo) y color de cada material, exceptuando los materiales PVC y PET ya que dichos materiales no pueden ser analizados con los equipos existentes en los laboratorios de la universidad,

en la segunda etapa del proyecto se realiza la interpretación y análisis de los resultados obtenidos.

1.1.4. Problema General

Problema general.

- No existe una caracterización reológica de los residuos plásticos que se aglomeran en la represa Daniel Palacios.

1.1.5. Problemas específicos.

- No se cuenta con una caracterización del índice de fluidez (MFI) de los residuos plásticos de la represa Daniel Palacios.
- No existe información acerca del torque máximo que presentan los residuos plásticos que provienen de la represa Daniel Palacios.
- No se cuenta con la información acerca de la temperatura de degradación de los residuos plásticos que provienen de la represa Daniel Palacios.

2. GRUPO OBJETIVO (BENEFICIARIOS).

La realización de este trabajo tiene como fin, realizar un aporte al grupo de investigación GiMaT (Grupo de Investigación en nuevos materiales y procesos de transformación).

2.1. OBJETIVOS.

2.1.1. Objetivo general.

- Determinar el índice de fluidez, torque máximo y temperatura de degradación de los residuos plásticos provenientes de la represa Daniel Palacios ubicada en el cantón Paute, provincia del Azuay.

2.1.2. Objetivos específicos.

- Determinar el índice de fluidez (MFI), de los residuos plásticos provenientes de la represa Daniel Palacios ubicada en el cantón Paute, provincia del Azuay.
- Encontrar el torque máximo que presentan los residuos plásticos provenientes de la represa Daniel Palacios ubicada en el cantón Paute, provincia del Azuay.
- Establecer la temperatura de degradación de los residuos plásticos provenientes de la represa Daniel Palacios ubicada en el cantón Paute, provincia del Azuay.

3. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 1. Matriz de Consistencia planteada.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Indicadores	Marco teórico
<p>General:</p> <p>No existe una caracterización reológica de los residuos plásticos provenientes de la represa Daniel Palacios</p>	<p>General:</p> <p>Determinar el índice de fluidez, torque máximo y temperatura de degradación de los residuos plásticos provenientes de la represa Daniel Palacios</p>	<p>General:</p> <p>Se determinará el índice de fluidez, torque máximo y la temperatura de degradación de los residuos plásticos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de Fluidez • Torque máximo • Temperatura de degradación 	<p>Conceptos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Índice de fluidez • Torque máximo • Temperatura de degradación
<p>Específicos:</p> <p>No se cuenta con una caracterización del índice de fluidez de los residuos plásticos de la represa.</p>	<p>Específicos:</p> <p>Determinar el índice de fluidez de los residuos plásticos provenientes de la represa.</p>	<p>Específicos:</p> <p>Se determinará el índice de fluidez de los residuos plásticos provenientes de la represa</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de fluidez (g/10 min) 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo Melt Flow Indexer • Viscosidad de los polímeros
<p>No existe información acerca del torque máximo que presentan los residuos plásticos que provienen de la represa Daniel Palacios.</p>	<p>Determinar el torque máximo de los residuos plásticos provenientes de la represa.</p>	<p>Se determinará el torque máximo que presenta los residuos plásticos provenientes de la represa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Torque máximo (MPa) 	<ul style="list-style-type: none"> • Plastógrafo Brabender • Resistencia a la cizalladura
<p>No se cuenta con la información acerca de la temperatura de degradación de los residuos plásticos de la represa.</p>	<p>Determinar la temperatura de degradación de los residuos plásticos provenientes de la represa.</p>	<p>Se establecerá la temperatura de degradación de los residuos plásticos provenientes de la represa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de degradación. (°C) 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de degradación de los polímeros (PP, PL)

Fuente (Autores)

4. Marco Teórico Referencial.

4.1. Embalses o represas

4.1.1. Embalses

Los embalses también conocidos como represas o diques, son los encargados de almacenar grandes cantidades de agua, ya sea para usarla en temporada de sequía, en sistemas de riego o para la generación de energía hidroeléctrica, en cualquiera de los casos mencionados, estos embalses cumplen un papel fundamental ya que son los encargados de abastecer en todo momento un caudal mínimo necesario [15,16,21,22]. La clasificación de los embalses se lo realiza más por razones de tipo estadístico que por interés desde el punto de vista técnico (V volumen, Mm^3 Millones de metros cúbicos):

Embalses gigantes $V > 100,000 Mm^3$

Embalses muy grandes $100,000 Mm^3 > V > 10,000 Mm^3$

Embalses grandes $10,000 Mm^3 > V > 1,000 Mm^3$

Embalses medianos $1,000 Mm^3 > V > 1 Mm^3$

Embalses pequeños $V < 1 Mm^3$

4.1.2. Impacto Ambiental

Se conoce como impacto ambiental a toda alteración en el ecosistema que sean beneficiosos o perjudiciales durante el desarrollo de un proyecto o actividad intervenido por la acción humana. El impacto ambiental que genera la construcción de un embalse específico para la generación de energía hidroeléctrico es muy amplio ya que genera impactos directos como indirectos desde el principio hasta la fase de operación [23,24,25].

Tales factores de afección durante la construcción y operación del embalse se enmarcan dentro de los medios físicos, bióticos y socioculturales:

Medio físico: el suelo, el agua, el aire, el clima y el paisaje

Medio biótico: la flora y la fauna

Medio sociocultural: los bienes materiales y patrimonio cultural.

La contaminación al paisaje es uno de los principales impactos ambientales que se ha venido tratando desde hace poco tiempo atrás, y es que estas imágenes son desoladoras figura 3, ya que aún no se ha encontrado la manera más adecuada y correcta de corregir tales impactos.



Figura 3. Contaminación en la represa Daniel Palacios

Otro de los temas actuales que se está tratando son las emisiones de Metano producidas por las centrales hidroeléctricas ya que estos gases contribuyen con el efecto invernadero que está azotando con mucha más firmeza en la actualidad. Las emisiones del gas metano procedentes de los embalses ha crecido de manera considerable como se puede observar en la figura 4 [26].

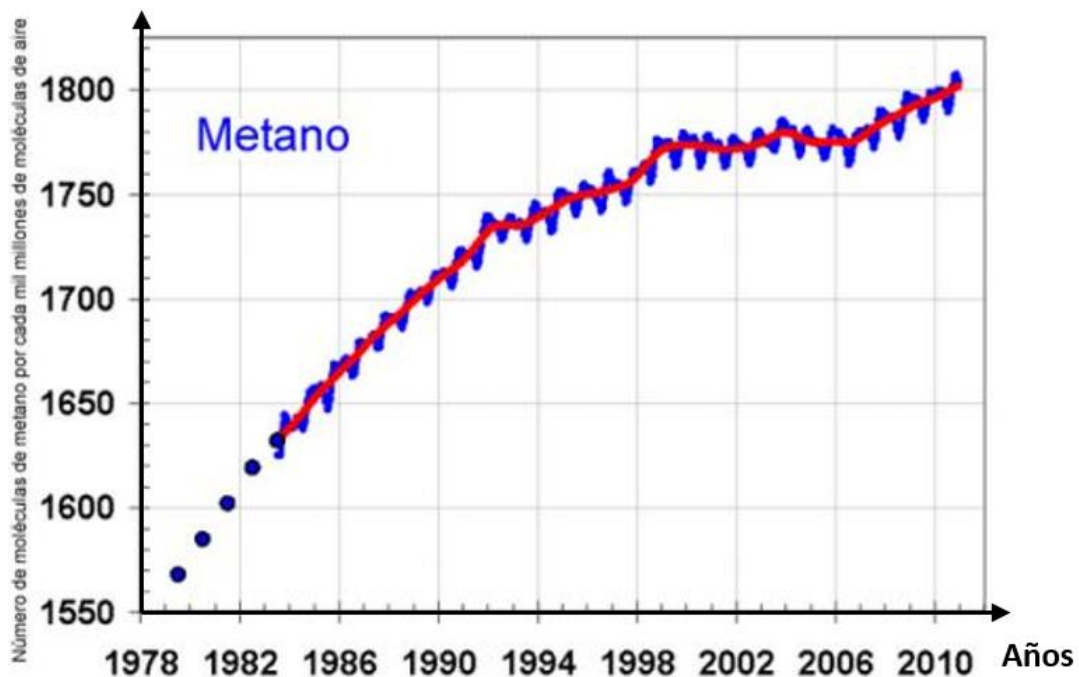


Figura 4. Emisiones de gas metano procedente de embalses. [27]

Los niveles de contaminación producidos por los embalses son muy altas, por tal motivo en la actualidad se estudian y practican técnicas de reproceso de materiales en estado de descomposición que se encuentran presentes en dichos lugares.

4.2. MFI o índice de fluidez

El MFI se define básicamente como el peso del polímero extruido en 10 minutos a través de un capilar de diámetro específico (2.0955 mm) y longitud (8.000 mm) por presión aplicada a través de peso muerto en condiciones de temperatura prescritas, en los últimos 50 años el MFI ha sido usada y especificada como una prueba de control de calidad reológica de punto único en la manufactura de polímeros [28,29].

Esta prueba ha sido aceptada como una muestra de la habilidad de una resina para fluir [30].

Dichas pruebas deben ser realizadas bajo la norma prescrita ASTM D1238-10 la cual nos da las especificaciones necesarias que deben usarse con cada uno de los distintos polímeros que se requieran analizar, dicha norma proporciona la precisión del valor de MFI que se puede obtener a partir de una única medición realizada por diferentes operadores en diferentes ubicaciones para estar en los mismos rangos de operación.

4.2.1. Torque máximo

El torque máximo de un polímero va a permitir conocer con anticipación el comportamiento que tendrán los polímeros en los equipos de transformación como extrusoras e inyectoras, además permite también la comparación de los mismos materiales a diferentes proporciones de los aditivos en estudio.

4.2.2. Temperatura de degradación

La temperatura de degradación de un polímero es la temperatura de permanencia máxima que un polímero puede trabajar sin perder sus propiedades físicas y químicas, la degradación reduce el peso molecular de dicho polímero haciéndolo débil debido a que rompe los enlaces covalentes de las cadenas formadas en la polimerización [31].

4.2.3. Equipo Melt Flow Indexer

La determinación del índice de fluidez se realizará mediante el equipo Melt Flow Indexer Serie 3000 que se encuentra en los laboratorios de polímeros de la Universidad Politécnica Salesiana.

Este equipo tiene un rango de temperatura de 120 a 450 °C con una precisión de ± 0.5 °C, dicho equipo se presenta en la figura 5.



Figura 5. Equipo Melt Flow Index.

Para realizar las pruebas en el equipo mencionado se deberá trabajar bajo la norma ASTM D1238-10, la cual nos especifica claramente los parámetros necesarios que se deben emplear antes de realizar la experimentación.

4.3. Viscosidad dinámica

La viscosidad dinámica es una de las características más importantes de un flujo ya que nos indica la resistencia que presenta un flujo al ser transportado de un lado a otro [32,33,34].

Dichos flujos pueden ser newtonianos y no newtonianos, los flujos newtonianos son aquellos fluidos cuyo valor de viscosidad a una presión y temperatura dadas es único para cualquier velocidad de cizalla siendo independiente del tiempo de aplicación de la cizalla [35].

Newton situó un flujo entre dos láminas paralelas, una permanecía inmóvil mientras aplicaba una fuerza tangencial a la otra y observó que cada fluido oponía una resistencia característica al deslizamiento de la lámina entonces estableció que la fuerza por unidad de área necesaria para mover la lámina era proporcional al gradiente de la velocidad creado en el fluido siendo la constante de proporcionalidad función de la capacidad de deslizamiento, dicha constante fue llamada viscosidad [36].

En la tabla 2, se presenta un listado de viscosidades para diversos materiales a temperatura ambiente y presión atmosférica.

Tabla 2. Viscosidades distintos materiales a temperatura ambiente y presión atmosférica. [37]

Líquido	Viscosidad aproximada (Pa·s)
Vidrio Fundido (500 °C)	10^{12}
Polímeros Fundidos	10^3
Glicerol	10^{-1}
Agua	10^{-3}
Aceite de oliva	10^{-2}

La viscosidad de los materiales puede ser afectada en gran medida por factores como la velocidad de cizalla, temperatura, presión y tiempo de cizalla. Una gran cantidad de fluidos de interés industrial presentan desviaciones de la ley de Newton al ser su viscosidad una función de la velocidad de cizalla aplicada, la diferencia básica entre el comportamiento Newtoniano y el no Newtoniano es la longitud de la molécula del fluido [37].

La tabla 3, nos muestra los intervalos aproximados de velocidades de cizalla en diversos procesos industriales.

Tabla 3. Velocidades de cizalla de los diferentes procesos de transformación. [37]

Proceso	Margen de velocidades de deformación
Moldeo por Compresión	$10^{-6} - 10^{-4}$
Calandrado	$10 - 10^{-2}$
Extrusión	$10^2 - 10^3$
Inyección	$> 10^3$

Al existir un amplio rango de velocidades de deformación es muy importante tener en cuenta la variación que puede sufrir la viscosidad de un fluido no Newtoniano con la velocidad de deformación. La figura 6, representa el esfuerzo de cizalla frente a la velocidad para algunos de estos materiales, este tipo de curvas se denominan curvas de flujo y se usan para expresar el comportamiento reológico de los fluidos.

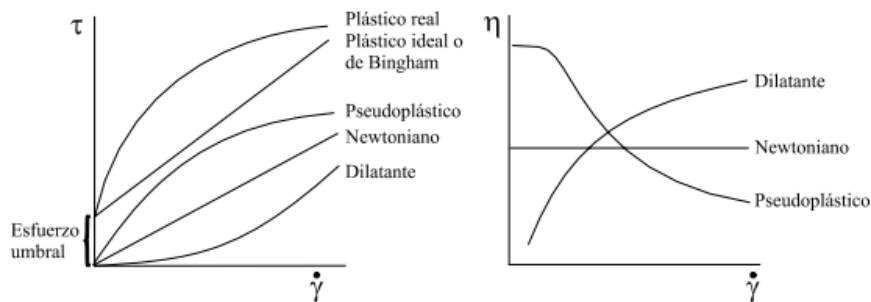


Figura 6. Curva de flujo de fluidos. [37]

4.3.1. Variación de la viscosidad con la temperatura

Otro de los factores importantes para la variación de la viscosidad en los fluidos es la temperatura de trabajo, la mayoría de los materiales disminuyen su viscosidad con la temperatura la dependencia es exponencial y puede haber hasta un 10% por cada °C modificado [37].

En la figura 7, se muestra algunos ejemplos de la dependencia de la viscosidad con la temperatura de algunos polímeros.

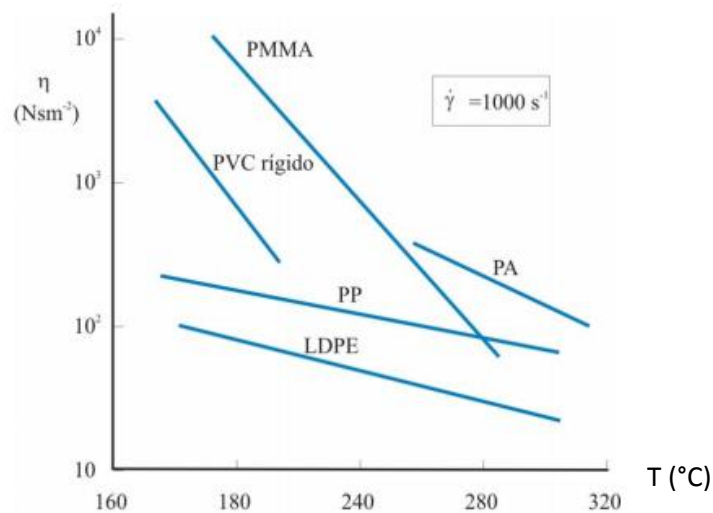


Figura 7. Dependencia de la viscosidad con respecto a la temperatura. [36]

4.3.2. Variación de la viscosidad con respecto a la presión

La presión a la que se encuentra sometido un fluido también es un factor que puede ayudar a que exista una variación de la viscosidad en el fluido en estudio, la compresión de un polímero fundido reduce el volumen libre y por lo tanto aumenta la viscosidad [38]. Conforme aumenta el tiempo de deformación o cizalla algunos valores de viscosidad se mantiene constantes [36], los comportamientos posibles que se pueden dar se muestran en la figura 8.

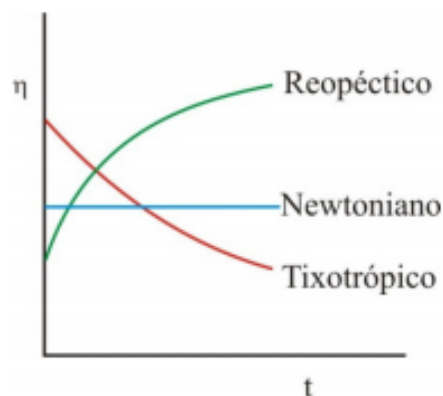


Figura 8. Comportamiento de la viscosidad frente al tiempo. [36]

Reopéctico: Los fluidos reopécticos son aquellos en los que la viscosidad aumenta con el tiempo de aplicación del esfuerzo, este comportamiento es poco frecuente.

Tixotrópico: Se da cuando la viscosidad disminuye con el tiempo de aplicación de la cizalla, como por ejemplo la gelatina, pintura, adhesivos y la mayoría de los polímeros fundidos.

4.4. Equipo Plastógrafo

Para la determinación del torque máximo y la temperatura de degradación del material se utilizará el Plastógrafo EC 50 Plus que se encuentra ubicado en el laboratorio de polímeros de la universidad Politécnica Salesiana. El equipo presenta un rango de control de temperatura de 5 °C a 200 °C con una capacidad de carga de 50 g. La prueba a realizar en dicha máquina se basa en la norma ASTM D2396-94 y de acuerdo al manual de usuario de este equipo.

En la figura 9, se presenta el equipo plastógrafo con el que se cuenta en la universidad Politécnica Salesiana.



Figura 9. Equipo Plastógrafo Brabender.

4.4.1. Resistencia a la cizalla

La deformación que sufre un cuerpo frente a una carga aplicada se refiere al cambio relativo de sus dimensiones, esta deformación está en función de sus propiedades moleculares del material e independiente de sus dimensiones específicas [38].

La deformación que sufre un cuerpo es proporcional a la carga aplicada y cuando se retira la fuerza el cuerpo tiende a regresar a sus dimensiones iniciales, sin embargo, todas las sustancias tienen un límite elástico después del cual ya no regresan a sus dimensiones originales.

Si el esfuerzo que se le aplica a un cuerpo es longitudinal (tensión o compresión) el módulo que relaciona al esfuerzo y la deformación se denomina Modulo de Young.

4.4.2. Módulo de Cizalla.

El módulo de cizalladura de una materia es una constante numérica que describe sus propiedades de deformación elástica, o grado de rigidez, bajo aplicación de fuerzas internas transversales [33].

El módulo de cizalladura es una medida que caracteriza la capacidad de un material de resistir deformaciones transversales, siendo este índice únicamente válido para el comportamiento elástico de pequeñas deformaciones luego del cual el material es capaz de regresar a su forma original.

En el estudio de los polímeros, el módulo de cizalladura se suele representar con el símbolo G , a veces con S o μ y se lo define como la razón entre la tensión de corte y la deformación de corte, y generalmente de lo expresa en GPa (giga pascales) o Ksi (miles de libras por pulgada cuadrada).

La figura 10, presenta un gráfico idealizado para realizar la medición del esfuerzo cortante:

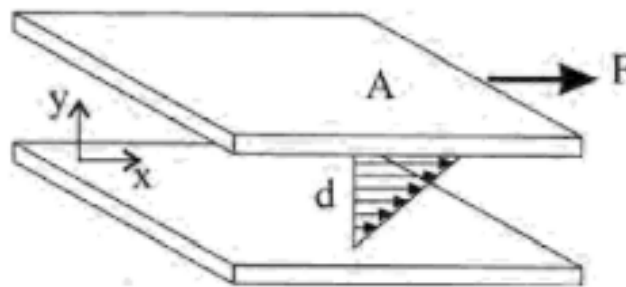


Figura 10. Medición del esfuerzo cortante. [39]

A continuación, se presenta la expresión matemática para la obtención del módulo de cizalladura.

$$G \cong \frac{\tau_{xy}}{\gamma_{xy}} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta x}{l}} = \frac{Fl}{\Delta x A} \quad (1)$$

Donde:

$\tau_{xy} = \frac{F}{A}$ es la tensión de corte

F es la fuerza actuante

A es el área en el cual actúa el esfuerzo

$\gamma_{xy} = \frac{\Delta x}{l} = \tan \theta$ es la deformación de corte

Δx es el desplazamiento transversal

l es la longitud inicial

La tabla 4, presenta el valor del módulo de Young de algunos de los principales polímeros utilizados en la industria.

Tabla 4. Módulo de elasticidad de los polímeros más comerciales. [40]

Módulo de elasticidad de los Polímeros		
Material	GPa	10 ⁶ psi
PVC (Cloruro de polivinilo)	2.41 – 4.14	0.35 – 0.60
Epoxi	2.41	0.35
Nailon 6,6	1.59 – 3.79	0.23 – 0.55
Polibutileno tereftalato (PBT)	1.93 – 3.00	0.28 – 0.435
Policarbonato (PC)	2.38	0.345
Poliestireno (PS)	2.28 – 3.28	0.33 – 0.475
Polietileno de alta densidad (HDPE)	1.18	0.157
Polietileno tereftalato (PET)	2.76 – 4.14	0.40 – 0.60
Polimetil metacrilato (PMMA)	2.24 – 3.24	0.325 – 0.470
Polipropileno (PP)	1.14 – 1.55	0.165 – 0.225

4.4.5. Degradación de los materiales poliméricos.

Los cambios indeseables en los materiales se consideran como degradación del mismo, existen una amplia clasificación de degradación con respecto a los polímeros estos cambios pueden ser físicos o químicos inducidos por la presencia de luz solar, calor u otros agentes atmosféricos que contribuyen al cambio de la estructura de los polímeros [38,41].

En la tabla 5 se presenta el mecanismo y el tipo de degradación que sufren los polímeros al estar expuestos a un agente externos.

Tabla 5. Agentes externos y tipo de degradación causada en los materiales poliméricos. [41]

Agente externo	Tipo de degradación
Luz solar	Fotodegradación
Calor	Degradación térmica
Agentes atmosféricos	Degradación oxidante
Humedad	Degradación hidrolítica
Hongos y microorganismos	Biodegradación
Luz + oxígeno	Fotodegradación oxidante
Calor + oxígeno	Degradación termoxidativa
Luz + humedad	Degradación fotohidrolítica

4.4.6 Temperatura de degradación de los polímeros

La degradación térmica es la descomposición química de materiales cuando se aplica calor [32,42], dicha degradación puede ocurrir cuando el material está en combustión o cuando está expuesto a temperaturas elevadas sin combustión.

La degradación térmica es el proceso irreversible mediante el cual se produce una disminución significativa en sus propiedades mecánicas volviéndolo quebradizo y dando como consecuencia una reducción en la vida útil del material [43].

Se establece que:

“La estabilidad térmica de un material plástico depende de dos mecanismos. El primero es un proceso reversible y representa el ablandamiento del material al aumentar la temperatura, la magnitud de este proceso solamente depende de la temperatura. Sin embargo, la determinación de cambios reversibles en las propiedades incluye un factor temporal debido a la relajación del plástico.

El segundo mecanismo es la descomposición irreversible de sustancia debido al calor, este proceso depende tanto de la temperatura como del tiempo y está afectado por otros factores como la atmósfera circundante” [44].

Al calentar o enfriar un plástico se observan comúnmente dos tipos de transiciones. La transición es de primer orden cuando las propiedades del material cambian abruptamente, un ejemplo típico es el punto de fusión cristalino (T_f). La transición de segundo orden es más gradual y usualmente se puede relacionar con los segmentos amorfos del polímero. A esta temperatura las curvas de volumen vs temperatura cambian bruscamente, tal como se indica en la figura 11.

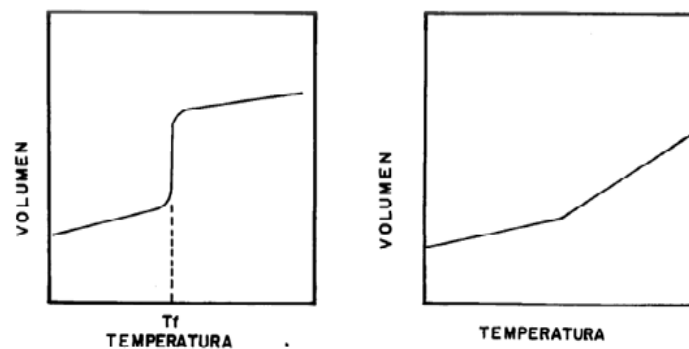


Figura 11: Curva de polímeros, Temperatura vs. Volumen [39].

4.5. Producción de polímeros

4.5.1. Melt Flow recomendado

Las principales diferencias entre cada uno de los polímeros existentes en el mercado nacional e internacional se presentan al momento de proceder a la transformación de

un polímero en estado virgen a un producto terminado, la principal técnica de transformación de los materiales termoplásticos consiste en aplicar la temperatura adecuada hasta llegar al punto de fusión o reblandecimiento del material para dejarlo fluir dentro de un molde o mediante la aplicación de presión para que tome la forma deseada.

El parámetro más adecuado que permiten el flujo de material es el esfuerzo de cizalla que presenta cada material, en la tabla 6, se presenta los valores del esfuerzo para cada tipo de proceso que se lo vaya a aplicar [45].

Tabla 6. MFI recomendado para los diferentes procesos de operación [45].

Proceso	Melt Flow recomendado (g/10min)
Moldeo por compresión, Calandrado y Extrusión	0.1 – 8
Inyección	5 – 100
Tubería	0.1 – 0.5
Película TWQ, Cast	7 – 11
BOPP	2 – 7
Extrusión de cintas	2 – 4
Blown Film	0.3 – 1.5
Calandrado	1.5 – 3
Multifilamento	8 – 35
Spunbond	25 – 35
Calculo de extrusión	20 – 25

4.5.2. Aditivación

La matriz polimérica como tal no es útil, sino hasta cuando haya sido incorporado algún tipo de aditivo que hace que este polímero sea verdaderamente útil, un aditivo es toda sustancia que va dispersa físicamente en la matriz polimérica sin causar ningún cambio ni alteración en su estructura molecular. Al momento de realizar la incorporación del aditivo se debe tomar muy en cuenta la función que va realizar dicho producto, dependiendo el tipo de uso que se vaya a dar a cada producto final del polímero, se seleccionan los aditivos más convenientes los cuales deben cumplir una serie de requisitos técnicos para que el producto final cumpla con todas las especificaciones [36,46].

Los aditivos existentes en el mercado no se clasifican por su constitución química sino por su función, en la tabla 7, tenemos un listado del tipo de aditivo y su función.

Tabla 7. Diferentes aditivos para plásticos [36].

Función del Aditivo	Tipo de aditivo
Aditivos que facilitan el procesado	Estabilizantes Lubricantes
Aditivos que modifican las propiedades mecánicas	Plastificantes Cargas reforzantes Modificadores de impacto
Aditivos que disminuyen costes de las formulaciones	Cargas Diluyentes y extendedores
Modificadores de propiedades superficiales	Agentes antiestéticos Aditivos antideslizamiento Aditivo antidesgaste Promotores de adhesión
Modificadores de propiedades ópticas	Pigmentos y colorantes Agentes de nucleación
Aditivos contra el envejecimiento	Estabilizantes contra luz UV Fungicidas
Otros	Agentes espumantes Retardantes de llama

5. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Realizar pruebas de las muestras provenientes de la represa Daniel Palacios en los equipos de Melt Flow Index y Plastógrafo, para determinar sus características.

6. METODOLOGÍA

6.1. Metodología de la Investigación

Experimental:

Es un tipo de investigación en el cual el investigador puede manipular libremente las variables para delimitar relación entre ellas, este método se basa en la recopilación de datos para comparar las mediciones de un grupo control.

Fases:

- **Descriptiva:** Donde se describe la teoría aplicada a la investigación.
- **Experimental:** Donde se realizan pruebas – experimentos para determinar el comportamiento de mis variables de estudio.
- **Correlacional:** Donde identifico la relación que tienen mis variables de entrada con mis variables de salida.

6.2. Metodología de proceso:

6.2.1. Recolección de muestras:



Figura 12. Metodología del proceso de recolección de muestras.

6.2.2. Pruebas de Melt index:

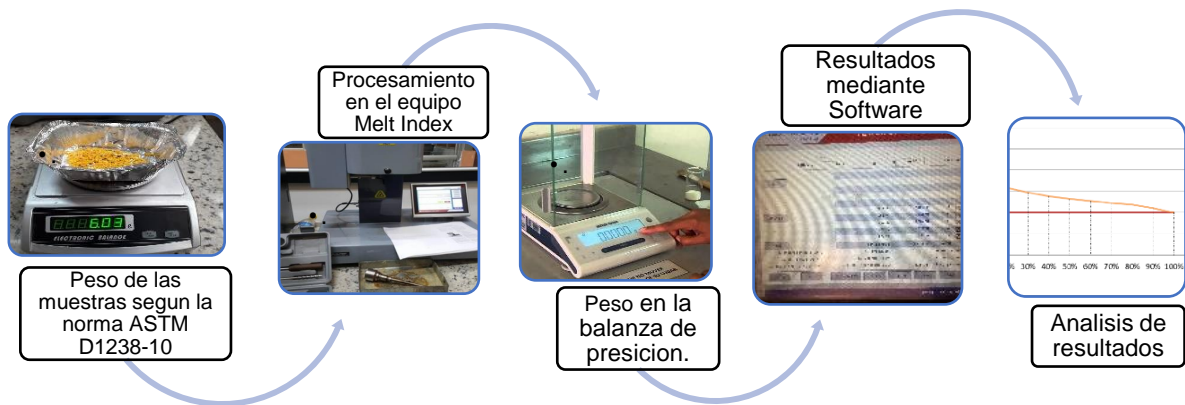


Figura 13. Proceso de obtención de resultados en Melt Index.

6.2.3. Pruebas de Plastógrafo:

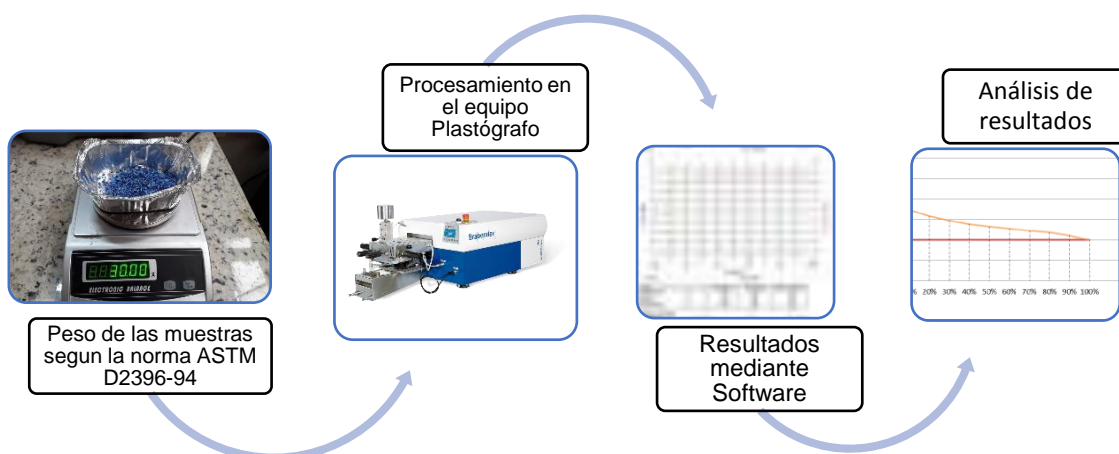


Figura 14. Proceso de obtención de resultados en el Plastógrafo.

6.3. Metodología estadística

6.3.1. MUESTRA:



Las muestras se recolectaron de la represa Daniel Palacios ubicada en el cantón Paute perteneciente a la provincia del Azuay, la primera y tercera semana de cada mes, empezamos en el mes de marzo y terminamos en septiembre separándolos por color, característica física de envejecimiento (viejo – nuevo) y también por inspección visual a través de la marcación en los envases.

Los materiales poliméricos de mayor existencia en dicho lugar fueron:

- Polietileno de Alta Densidad (PEAD)
- Poliprolileno (PP)

Los mismos que se comprobaron mediante algunas pruebas a la llama (ver tabla 8):

Tabla 8. Características del PEAD y PP ante aplicación de llama.

Prueba de llama				
Material	Color de la llama	Olor	Características	Observaciones
PEAD Reciclado 	Color naranja con bordes amarillentos	Olor a vela	Humo de color gris claro	Se funde y mantiene una inflamación rápida
PP Reciclado 	Azul Claro	Ligero	Gris muy claro	La llama es muy irregular

6.3.2. Tamaño de la muestra:

Equipo Melt Index

		Rojo	Negro	Amarillo	Plomo	Azul	Blanco	Muestras por Color
Semana 1	PEAD	X	X	X				5
	PP							
Semana 2	PEAD	X	X	X		X	X	5
	PP	X	X					5
Semana 3	PEAD	X		X		X	X	5
	PP							
Semana 4	PEAD	X	X	X	X		X	5
	PP	X	X					5
Semana 5	PEAD	X	X	X	X		X	5
	PP	X	X					5
Semana 6	PEAD		X	X		X	X	5
	PP	X	X					5
Semana 7	PEAD			X		X	X	5
	PP	X	X					5
Semana 8	PEAD	X	X	X	X		X	5
	PP	X	X					

Se escoge 5 muestras para cada color y cada material debido que la norma ASTM D1238-10 así lo contempla.

Equipo Plastógrafo EC50 Plus

		Rojo	Negro	Amarillo	Plomo	Azul	Blanco	Muestras por Color
Semana 1	PEAD	X	X	X				2
	PP							
Semana 2	PEAD	X	X	X		X	X	2
	PP	X	X					2
Semana 3	PEAD	X		X		X	X	2
	PP							
Semana 4	PEAD	X	X	X	X		X	2
	PP	X	X					2
Semana 5	PEAD	X	X	X	X		X	2
	PP	X	X					2
Semana 6	PEAD		X	X		X	X	2
	PP	X	X					2
Semana 7	PEAD			X		X	X	2
	PP	X	X					2
Semana 8	PEAD	X	X	X	X		X	2
	PP	X	X					

Se escoge 2 muestras para cada color y cada material debido que la norma ASTM D2396-94 así lo contempla.

7. Resultados y discusiones

7.1. Resultados

7.1.1. Reometría MFI:

El análisis de las muestras, tanto de PEAD como de PP se realizó siguiendo la caracterización mencionada en la tabla 8, se realizaron 5 muestras cada una con 5 barridas, el promedio de los resultados obtenidos para cada uno de los materiales clasificados se presenta en la sección siguiente:

Resultados de la Primera semana

Durante la primera semana se recolectaron muestras únicamente del material PEAD de los siguientes colores: amarillo, negro y rojo bajo.

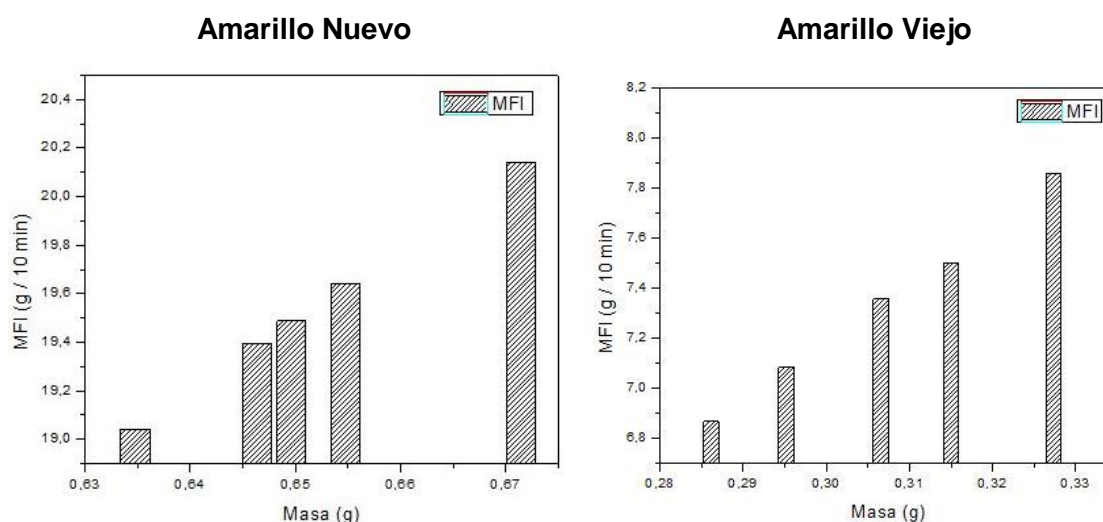
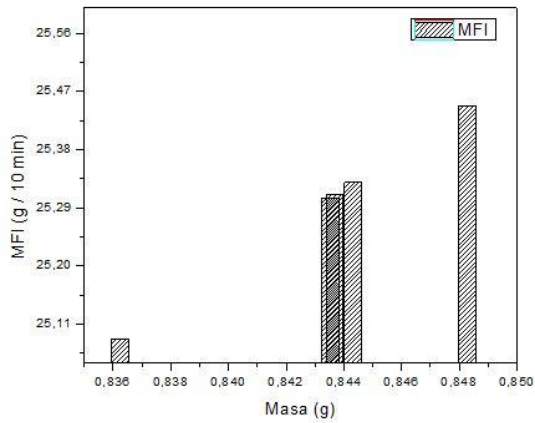


Figura 15. MFI del PEAD recolectado en la semana 1, color amarillo.

Tabla 9. Rango de MFI para el PEAD de color amarillo, semana 1.

Material: Rango de MFI para el material PEAD de color amarillo semana 1				
Material Nuevo			Materia Viejo	
	(g / 10 min)			(g / 10 min)
MFI máx.	20.16		MFI máx.	7.58
MFI mín.	19.08		MFI mín.	6.86
Rango	1.8		Rango	0.72

Negro Nuevo



Negro Viejo

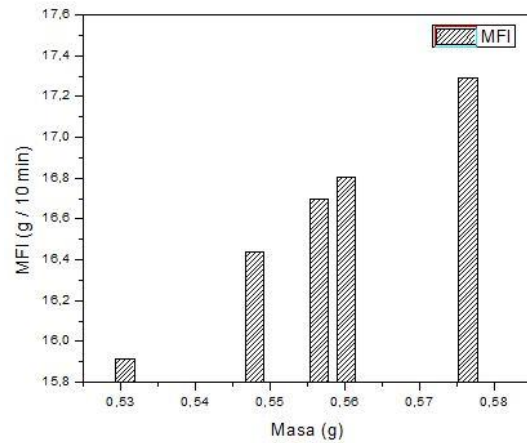
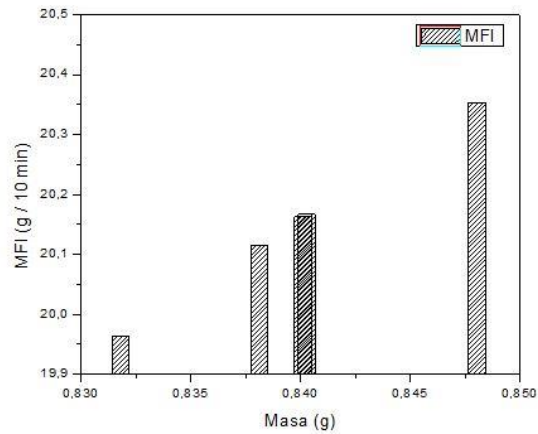


Figura 16. MFI del PEAD recolectado en la semana 1, color negro.

Tabla 10. Rango de MFI para PEAD de color negro, semana 1.

Material: Rango de MFI para el material PEAD de color negro semana 1			
Material Nuevo		Materia Viejo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	25.448	MFI máx.	17.292
MFI mín.	25.087	MFI mín.	15.912
Rango	0.361	Rango	1.38

Rojo Nuevo



Rojo Viejo

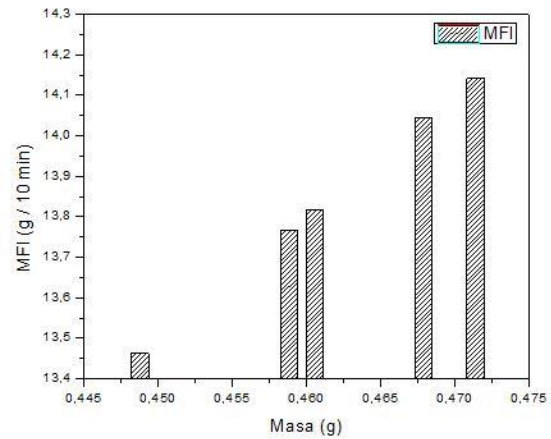


Figura 17. MFI del PEAD recolectado en la semana 1, color rojo.

Tabla 11. Rango de MFI para el PEAD de color rojo, semana 1.

Material: Rango de MFI para el material PEAD de color rojo semana 1			
Material Nuevo		Materia Viejo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	20.397	MFI máx.	14.142
MFI mín.	19.962	MFI mín.	13.463
Rango	0.435	Rango	0.679

Resultados de la Segunda semana

En la segunda semana se encontraron los siguientes materiales PEAD y PP de color, amarillo, azul, blanco, negro y rojo y los colores negro y rojo respectivamente.

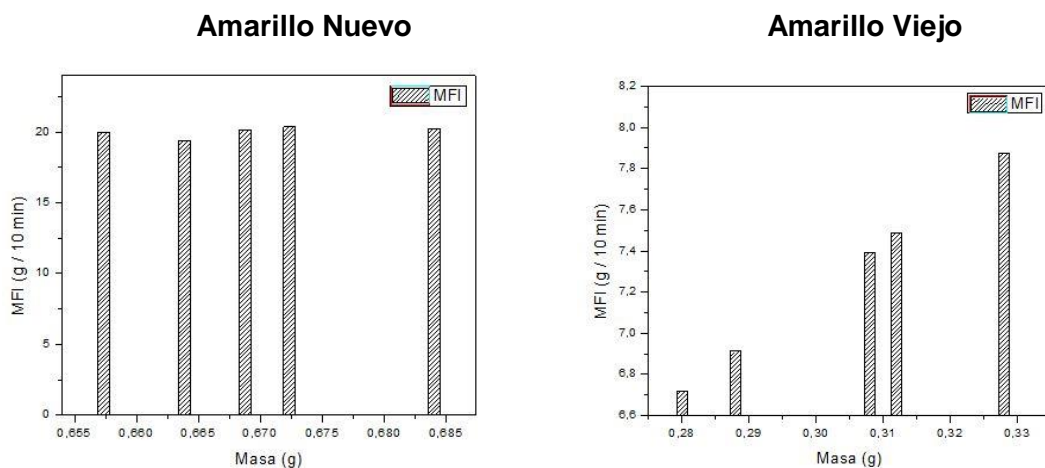


Figura 18. MFI del PEAD recolectado en la semana 2, color amarillo.

Tabla 12. Rango de MFI para PEAD color amarillo, semana 2.

Material: Rango de MFI para el material PEAD de color amarillo semana 2				
Material Nuevo			Materia Viejo	
	(g / 10 min)			(g / 10 min)
MFI máx.	20.352		MFI máx.	7.872
MFI mín.	19.392		MFI mín.	6.72
Rango	0.960		Rango	1.152

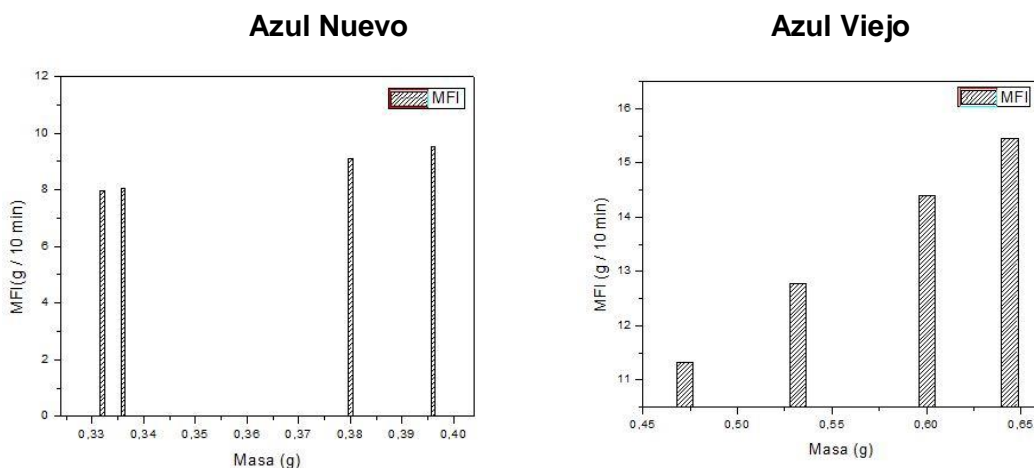
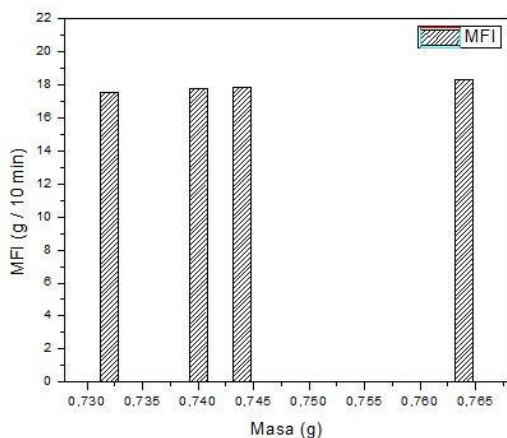


Figura 19. MFI del PEAD recolectado en la semana 2, color azul.

Tabla 13. Rango de MFI para PEAD color azul, semana 2.

Material: Rango de MFI para el material PEAD de color azul semana 2				
Material Nuevo			Materia Viejo	
	(g / 10 min)			(g / 10 min)
MFI máx.	9.12		MFI máx.	15.456
MFI mín.	7.968		MFI mín.	11.328
Rango	1.152		Rango	4.128

Blanco Nuevo



Blanco Viejo

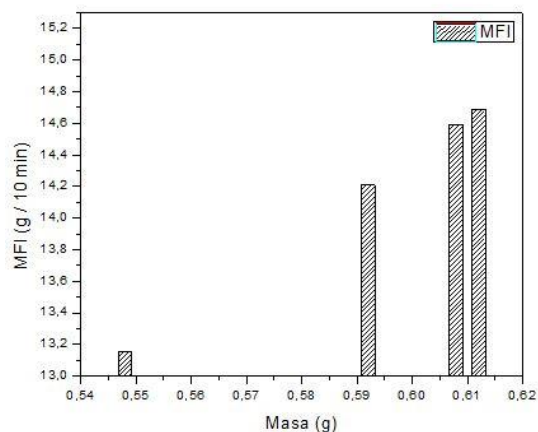
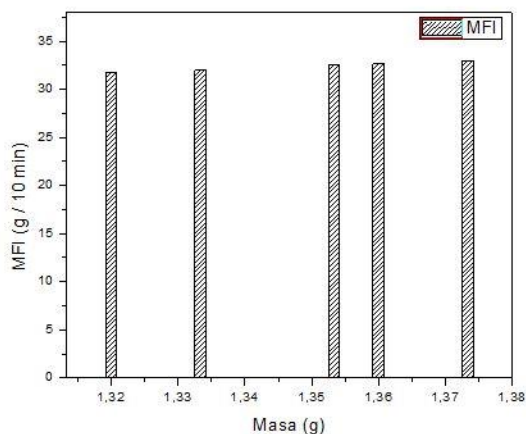


Figura 20. MFI del PEAD recolectado en la semana 2, color blanco.

Tabla 14. Rango de MFI para PEAD de color blanco, semana 2.

Material: Rango de MFI para el material PEAD de color blanco semana 2			
Material Nuevo		Materia Viejo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	18.336	MFI máx.	14.208
MFI mín.	17.568	MFI mín.	13.152
Rango	0.768	Rango	1.056

Negro Nuevo



Negro Viejo

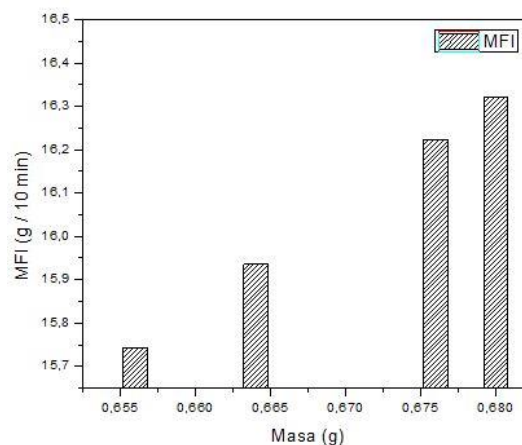


Figura 21. MFI del PEAD recolectado en la semana 2, color negro.

Tabla 15. Rango de MFI para PEAD de color negro, semana 2.

Material: Rango de MFI para el material PEAD de color negro semana 2			
Material Nuevo		Materia Viejo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	32.96	MFI máx.	16.32
MFI mín.	31.68	MFI mín.	15.744
Rango	1.28	Rango	0.0576

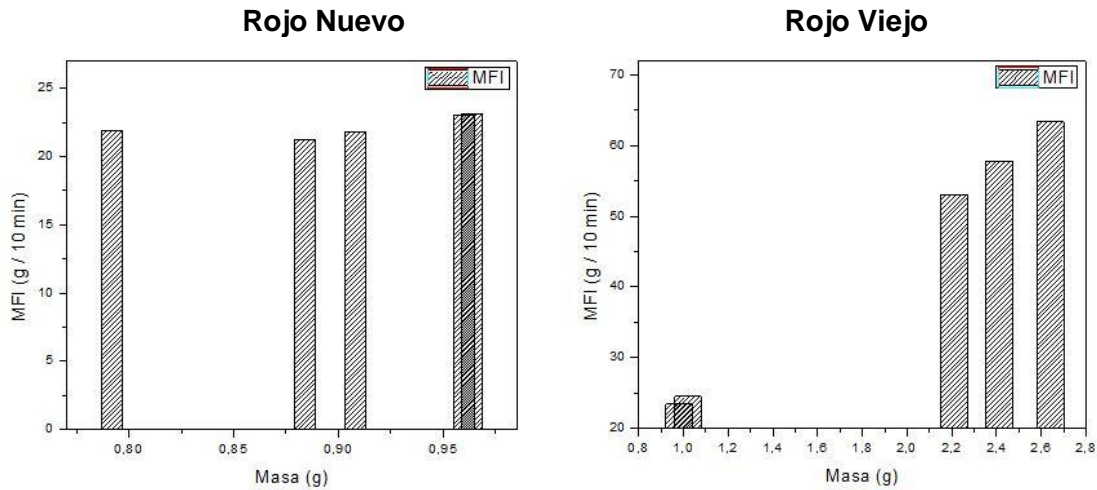


Figura 22. MFI del PEAD recolectado en la semana 2, color rojo.

Tabla 16. Rango de MFI para PEAD de color rojo, semana 2.

Material: Rango de MFI para el material PEAD de color rojo semana 2			
Material Nuevo		Materia Viejo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	23.136	MFI máx.	63.36
MFI mín.	21.216	MFI mín.	23.42
Rango	1.92	Rango	39.94

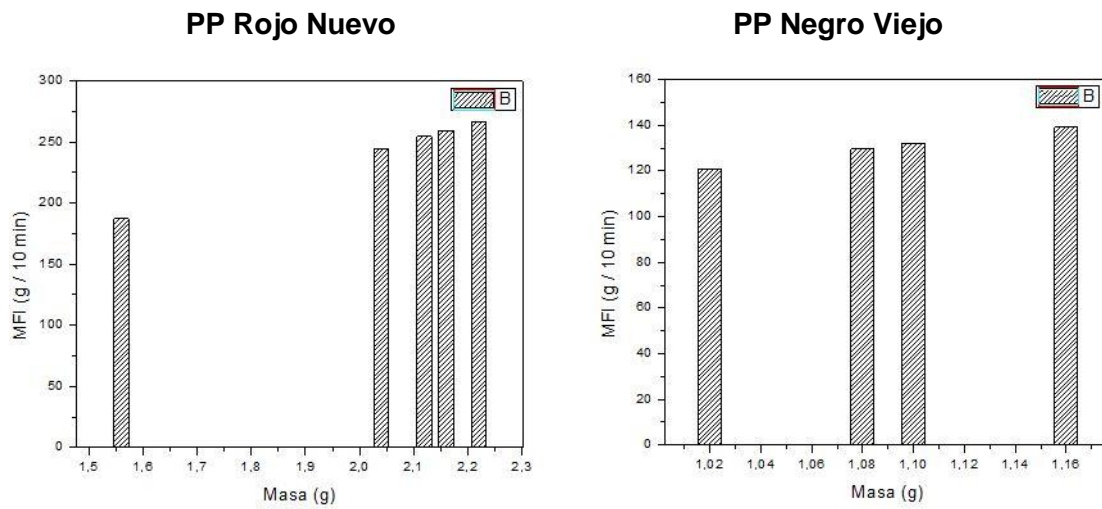


Figura 23. MFI del PP recolectado en la semana 2.

Tabla 17. Rango de MFI para PP de color rojo y negro, semana 2.

Material: Rango de MFI para el material PP de color rojo y negro semana 2			
PP Negro viejo		PP rojo viejo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	139.2	MFI máx.	266.4
MFI mín.	120.96	MFI mín.	187.2
Rango	18.24	Rango	79.2

Resultados de la tercera semana

Durante la tercera semana se recolectaron envases de color amarillo, azul, blanco únicamente de PEAD.

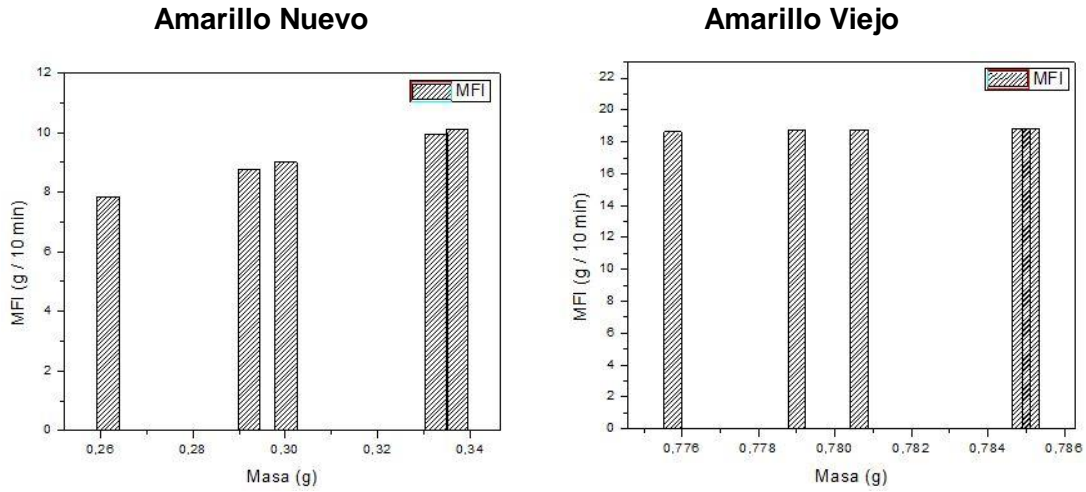


Figura 24. MFI del PEAD recolectado en la semana 3, color amarillo.

Tabla 18. Rango de MFI para PEAD de color amarillo, semana 3.

Material: Rango de MFI para el material PEAD amarillo, semana 3.			
Material Nuevo		Material Viejo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	10.114	MFI máx.	19.201
MFI mín.	7.851	MFI mín.	18.813
Rango	1.874	Rango	0.388

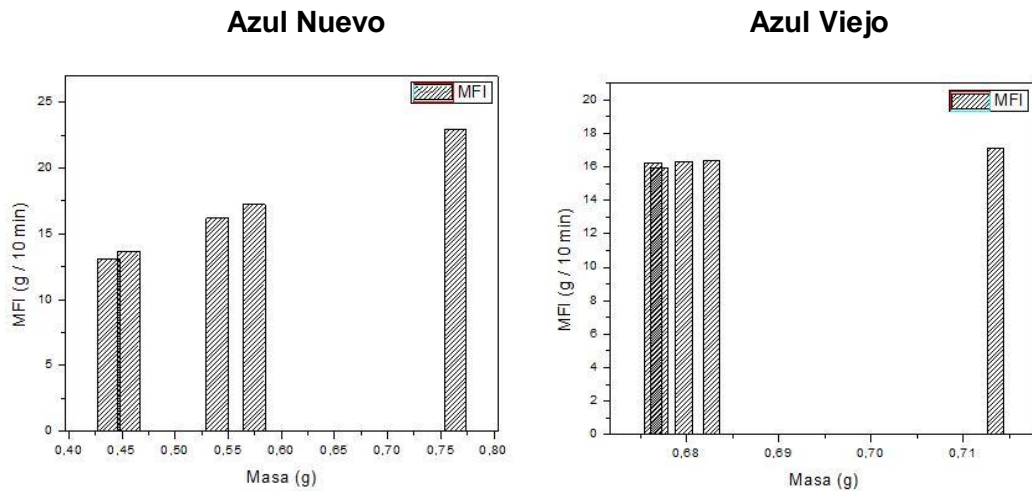
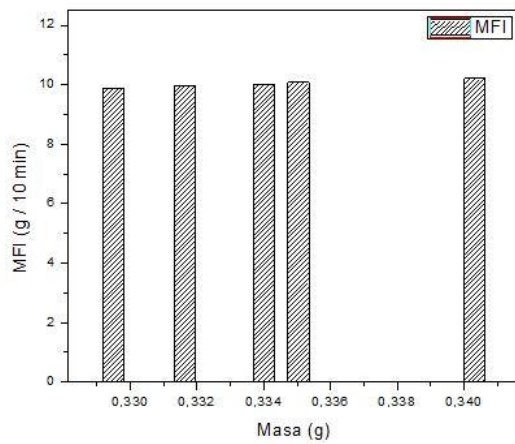


Figura 25. MFI del PEAD recolectado en la semana 3, color azul.

Tabla 19. Rango de MFI para PEAD de color azul, semana 3.

Material: Rango de MFI para el material PEAD azul, semana 3.			
Material Nuevo		Material Viejo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	22.906	MFI máx.	17.142
MFI mín.	13.132	MFI mín.	15.982
Rango	9.774	Rango	1.16

Blanco Nuevo



Blanco Viejo

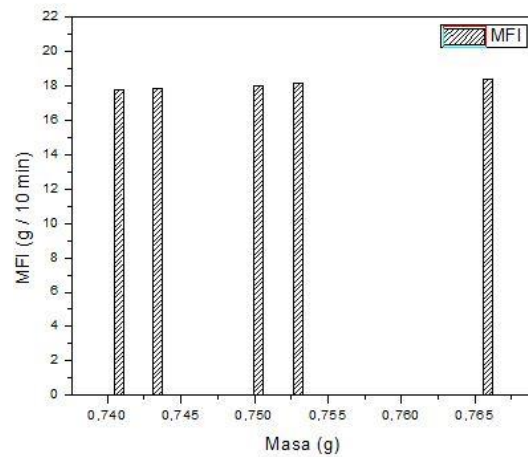


Figura 26. MFI del PEAD recolectado en la semana 3, color blanco.

Tabla 20. Rango de MFI para PEAD de color blanco, semana 3.

Material: Rango de MFI para el material PEAD blanco, semana 3.				
Material Nuevo			Material Viejo	
	(g / 10 min)			(g / 10 min)
MFI máx.	10.209		MFI máx.	18.441
MFI mín.	9.949		MFI mín.	18.118
Rango	0.26		Rango	0.323

Rojo Viejo

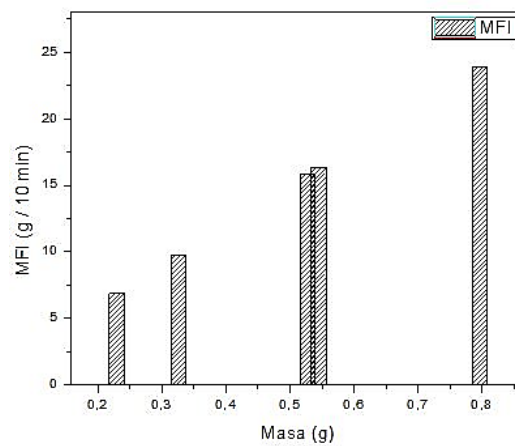


Figura 27. MFI del PEAD recolectado en la semana 3, color rojo.

Tabla 21. Rango de MFI para PEAD de color rojo, semana 3.

Material: Rango de MFI para el material PEAD rojo, semana 3.				
Material Nuevo			Material Viejo	
	(g / 10 min)			(g / 10 min)
MFI máx.			MFI máx.	23.888
MFI mín.			MFI mín.	6.877
Rango			Rango	17.011

Resultados de la cuarta semana.

En esta semana de recolección los materiales encontrados fueron de PEAD y PP de los colores: amarillo, blanco, rojo, plomo, negro y los colores rojo y negro respectivamente.

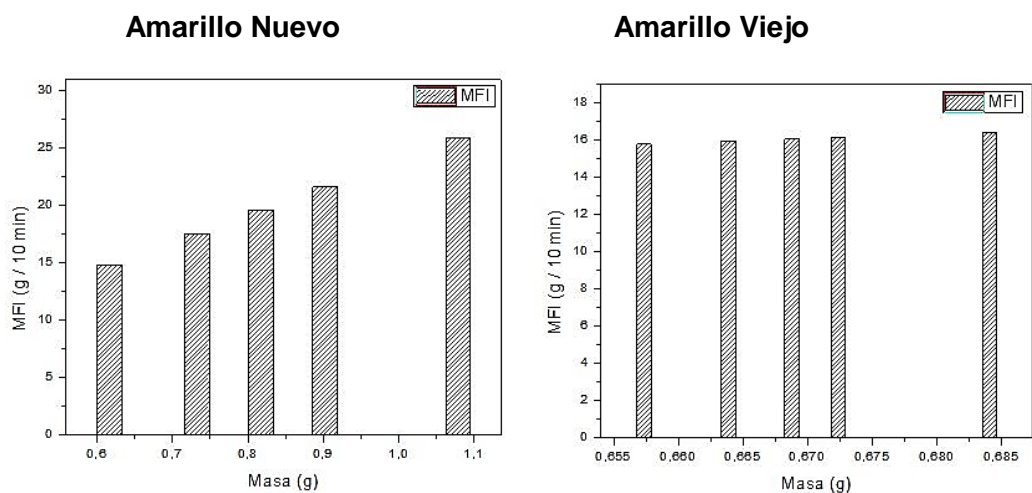


Figura 28. MFI del PEAD recolectado en la semana 4, color amarillo.

Tabla 22. Rango de MFI para PEAD de color amarillo, semana 4.

Material: Rango de MFI para el material PEAD amarillo, semana 4.			
Material Nuevo		Material Viejo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	25.884	MFI máx.	16.418
MFI mín.	14.804	MFI mín.	15.776
Rango	11.08	Rango	0.642

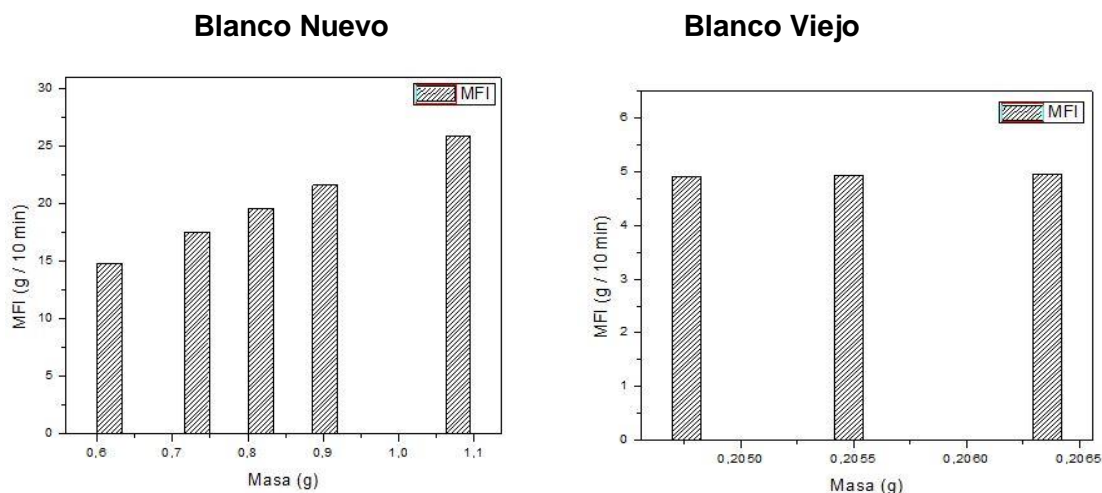


Figura 29. MFI del PEAD recolectado en la semana 4, color blanco.

Tabla 23. Rango de MFI para PEAD de color blanco, semana 4.

Material: Rango de MFI para el material PEAD blanco, semana 4.			
Material Nuevo		Material Viejo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	26.541	MFI máx.	5.109
MFI mín.	15.092	MFI mín.	4.995
Rango	11.449	Rango	0.114

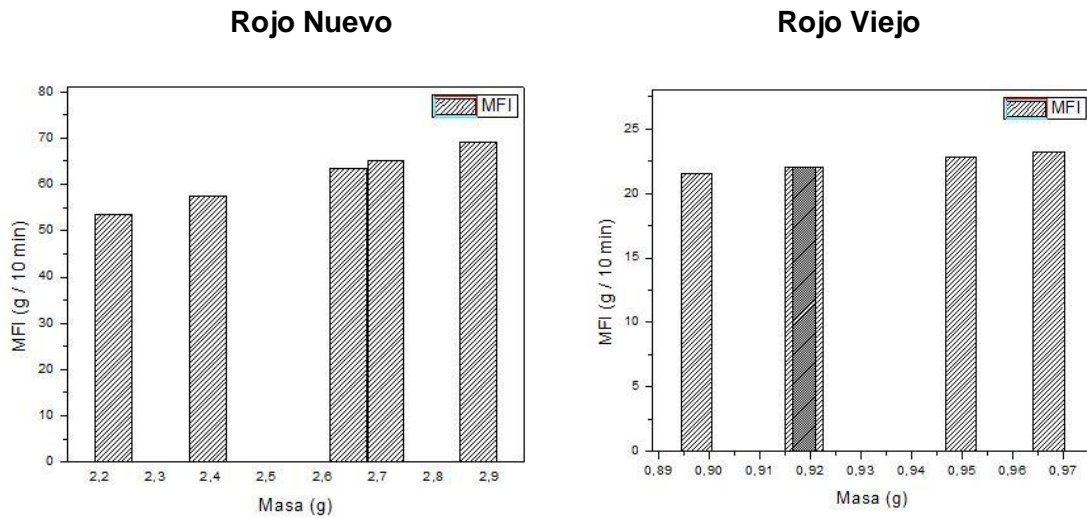


Figura 30. MFI del PEAD recolectado en la semana 4, color rojo.

Tabla 24. Rango de MFI para PEAD de color rojo, semana 4.

Material: Rango de MFI para el material PEAD rojo, semana 4.			
Material Nuevo		Material Viejo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	65.111	MFI máx.	23.21
MFI mín.	53.40	MFI mín.	21.54
Rango	11.711	Rango	1.67

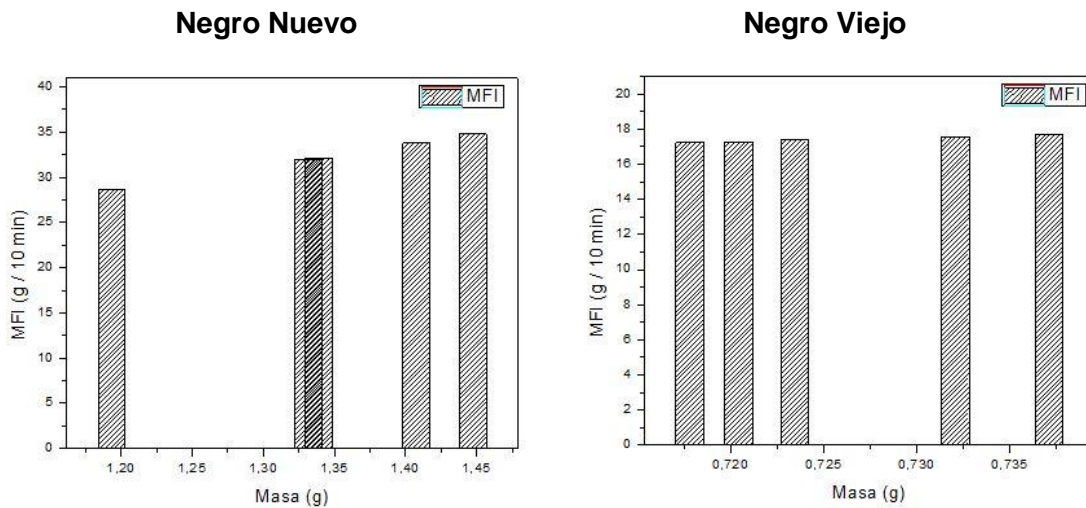


Figura 31. MFI del PEAD recolectado en la semana 4, color negro.

Tabla 25. Rango de MFI para PEAD de color rojo, semana 4.

Material: Rango de MFI para el material PEAD negro, semana 4.			
Material Nuevo		Material Viejo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	17.691	MFI máx.	34.787
MFI mín.	17.290	MFI mín.	28.643
Rango	0.401	Rango	6.144

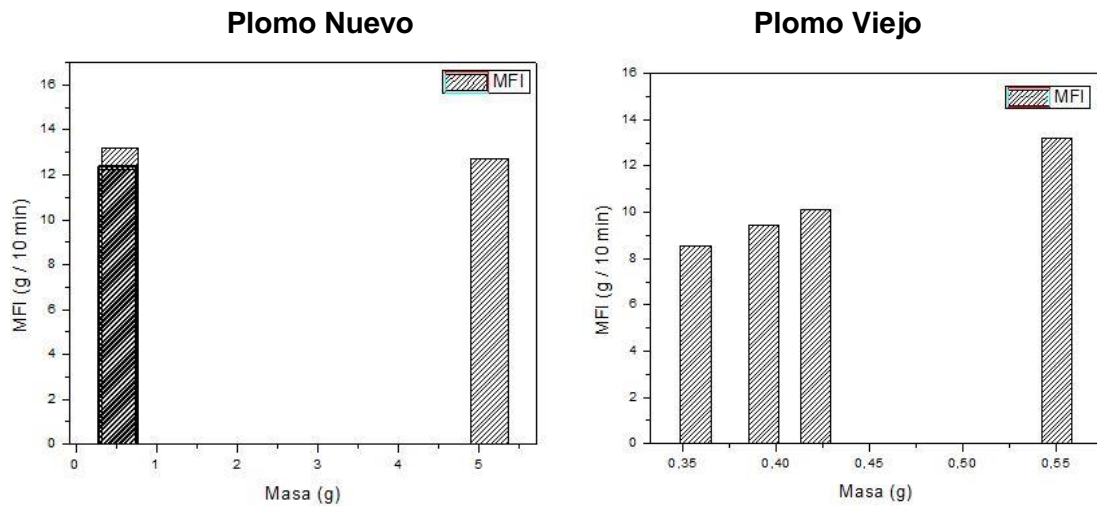


Figura 32. MFI del PEAD recolectado en la semana 4, color plomo.

Tabla 26. Rango de MFI para PEAD de color plomo, semana 4.

Material: Rango de MFI para el material PEAD plomo, semana 4.			
Material Nuevo		Material Viejo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	13.210	MFI máx.	13.210
MFI mín.	8.561	MFI mín.	12.215
Rango	4.649	Rango	0.995

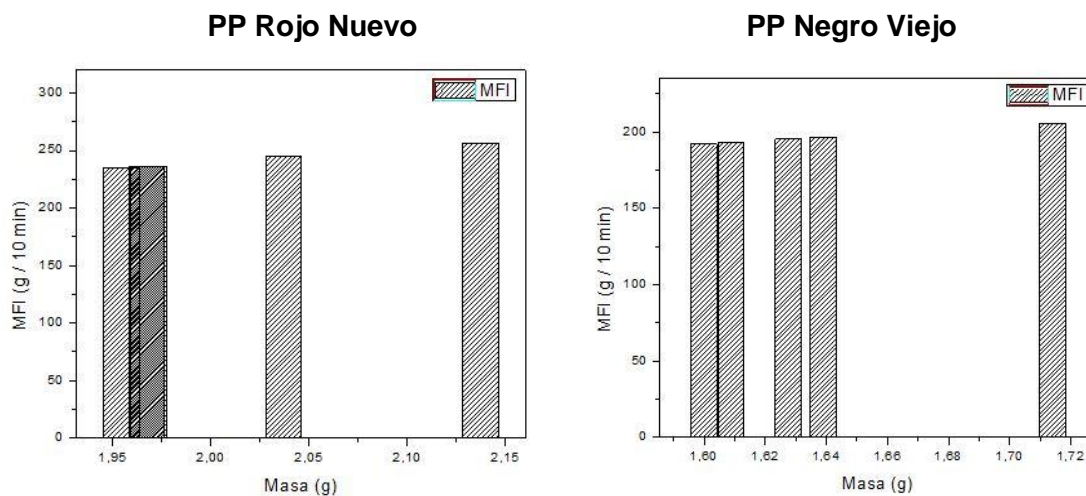


Figura 33. MFI del PP recolectado en la semana 4.

Tabla 27. Rango del MFI para el PP, semana 4.

Material: Rango de MFI para el material PP de color rojo y negro semana 4			
PP Rojo viejo		PP rojo viejo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	256.512	MFI máx.	205.680
MFI mín.	234.528	MFI mín.	191.056
Rango	21.984	Rango	14.624

Resultados de la quinta semana.

En la semana 5 se encontraron materiales de PEAD de color amarillo, blanco, rojo, negro plomo y los envases de PP de color rojo y negro.

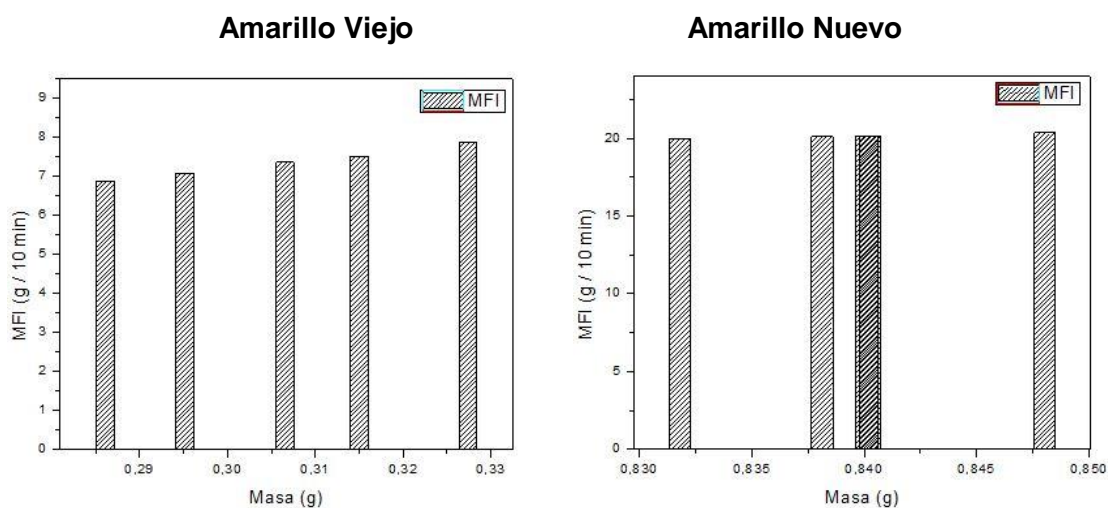


Figura 34. MFI del PEAD recolectado en la semana 5, color amarillo.

Tabla 28. Rango de MFI para PEAD de color amarillo, semana 5.

Material: Rango de MFI para el material PEAD amarillo, semana 5.				
Material Viejo			Material Nuevo	
	(g / 10 min)			(g / 10 min)
MFI máx.	7.856		MFI máx.	20.353
MFI mín.	6.866		MFI mín.	19.963
Rango	0.99		Rango	0.39

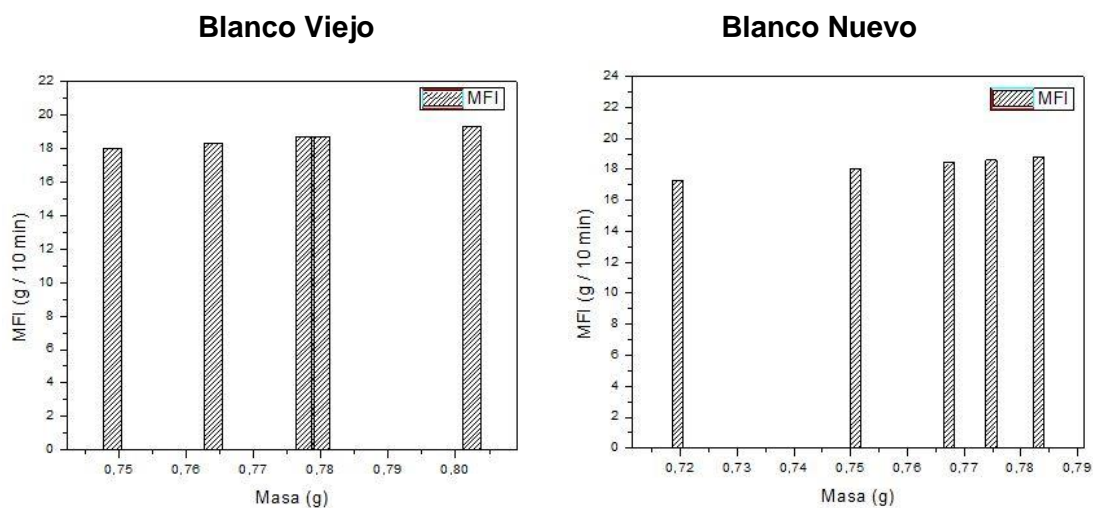


Figura 35. MFI del PEAD recolectado en la semana 5, color blanco.

Tabla 29. Rango de MFI para PEAD de color blanco, semana 5.

Material: Rango de MFI para el material PEAD blanco, semana 5.			
Material Viejo		Material Nuevo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	18.797	MFI máx.	19.316
MFI mín.	17.268	MFI mín.	17.977
Rango	1.529	Rango	1.339

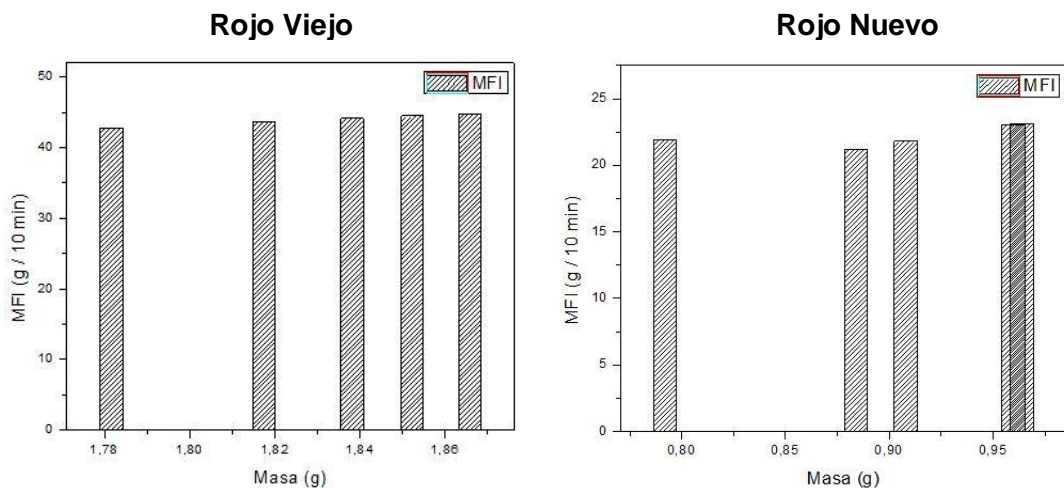
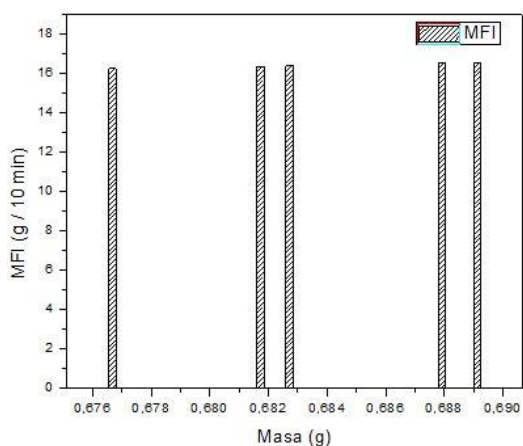


Figura 36. MFI del PEAD recolectado en la semana 5, color rojo.

Tabla 30. Rango de MFI para PEAD de color rojo, semana 5.

Material: Rango de MFI para el material PEAD rojo, semana 5.			
Material Viejo		Material Nuevo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	44.778	MFI máx.	23.136
MFI mín.	42.756	MFI mín.	21.216
Rango	2.022	Rango	1.92

Negro Viejo



Negro Nuevo

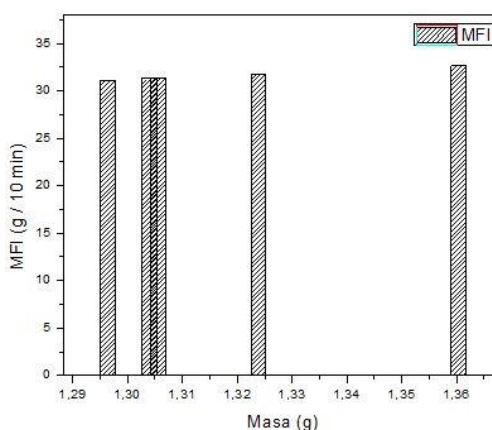
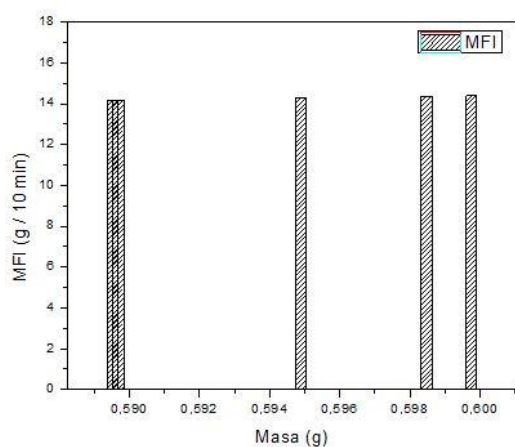


Figura 37. MFI del PEAD recolectado en la semana 5, color negro.

Tabla 31. Rango de MFI para PEAD de color negro, semana 5.

Material: Rango de MFI para el material PEAD negro, semana 5.			
Material Viejo		Material Nuevo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	16.539	MFI máx.	32.649
MFI mín.	16.240	MFI mín.	31.113
Rango	0.299	Rango	1.536

Plomo Viejo



Plomo Nuevo

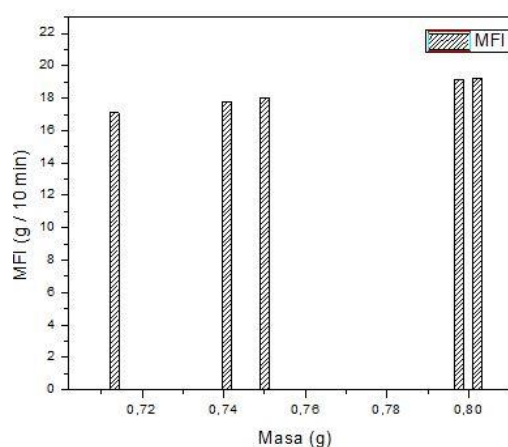


Figura 38. MFI del PEAD recolectado en la semana 5, color plomo.

Tabla 32. Rango de MFI para PEAD de color plomo, semana 5.

Material: Rango de MFI para el material PEAD plomo, semana 5.			
Material Viejo		Material Nuevo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	14.394	MFI máx.	19.250
MFI mín.	14.148	MFI mín.	17.114
Rango	0.246	Rango	2.136

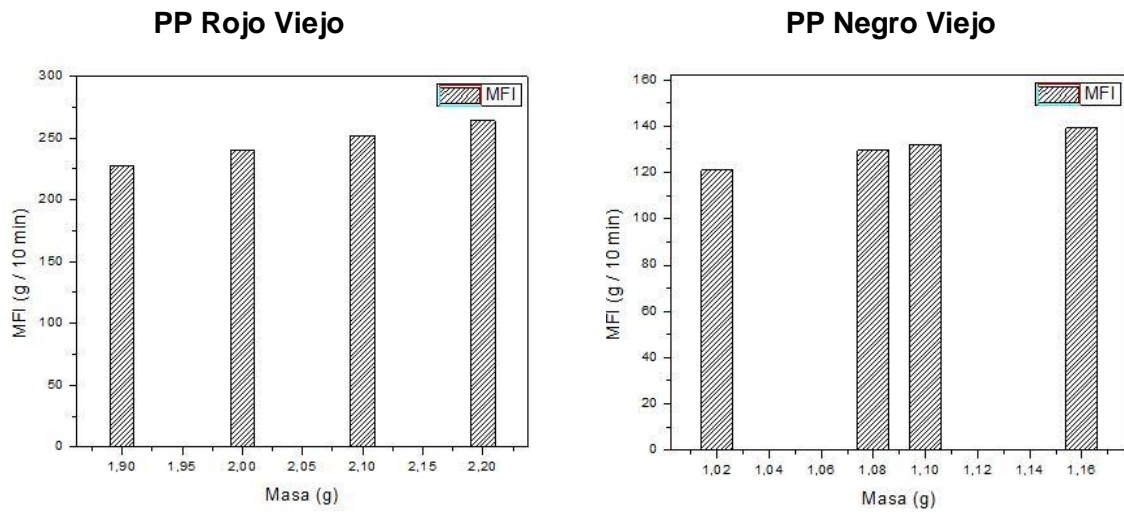


Figura 39. MFI del PP recolectado en la semana 5.

Tabla 33. Rango de MFI para el PP, recolectado en la semana 5.

Material: Rango de MFI para el material PP de color rojo y negro semana 5				
PP Rojo viejo			PP rojo viejo	
	(g / 10 min)			(g / 10 min)
MFI máx.	264		MFI máx.	139.20
MFI mín.	228		MFI mín.	120.96
Rango	36		Rango	18.24

Resultados obtenidos en la sexta semana.

Las muestras recolectadas en esta semana 6 fueron de PEAD de color amarillo, azul, blanco y negro mientras que en los envases de PP se encontraron únicamente de color negro y rojo.

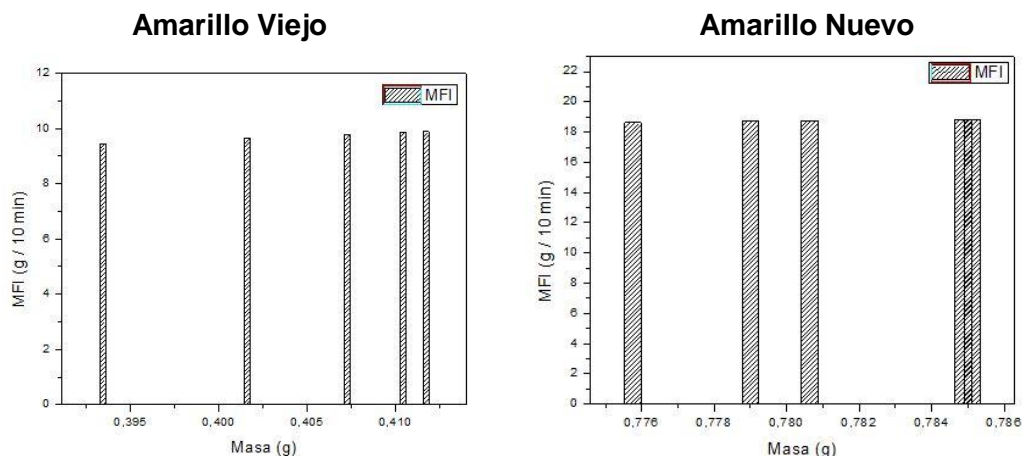


Figura 40. MFI del PEAD recolectado en la semana 6, color amarillo.

Tabla 34. Rango de MFI para PEAD de color amarillo, semana 6.

Material: Rango de MFI para el material PEAD amarillo, semana 6.				
Material Viejo			Material Nuevo	
	(g / 10 min)			(g / 10 min)
MFI máx.	9.881		MFI máx.	18.842
MFI mín.	9.441		MFI mín.	18.618
Rango	0.44		Rango	0.224

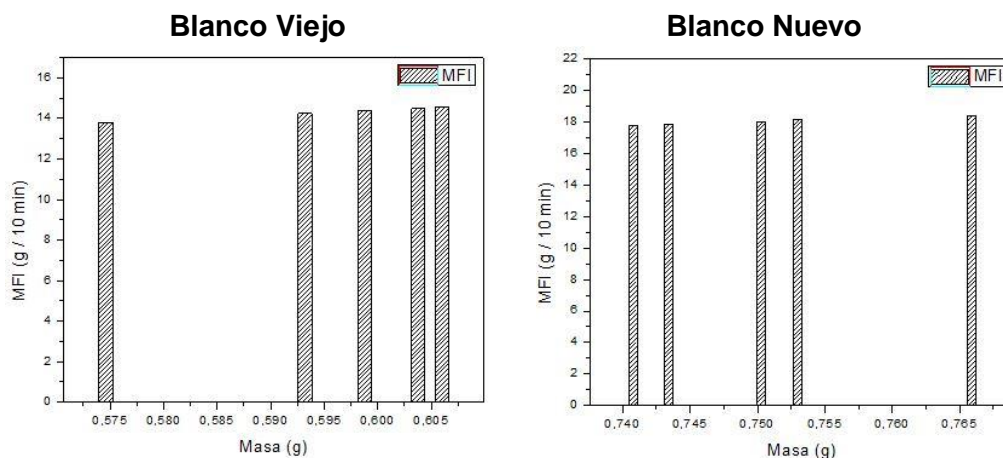


Figura 41. MFI del PEAD recolectado en la semana 6, color blanco.

Tabla 35. Rango de MFI para PEAD de color blanco, semana 6.

Material: Rango de MFI para el material PEAD blanco, semana 6.				
Material Viejo			Material Nuevo	
	(g / 10 min)			(g / 10 min)
MFI máx.	14.544		MFI máx.	18.381
MFI mín.	13.790		MFI mín.	17.778
Rango	0.754		Rango	0.603

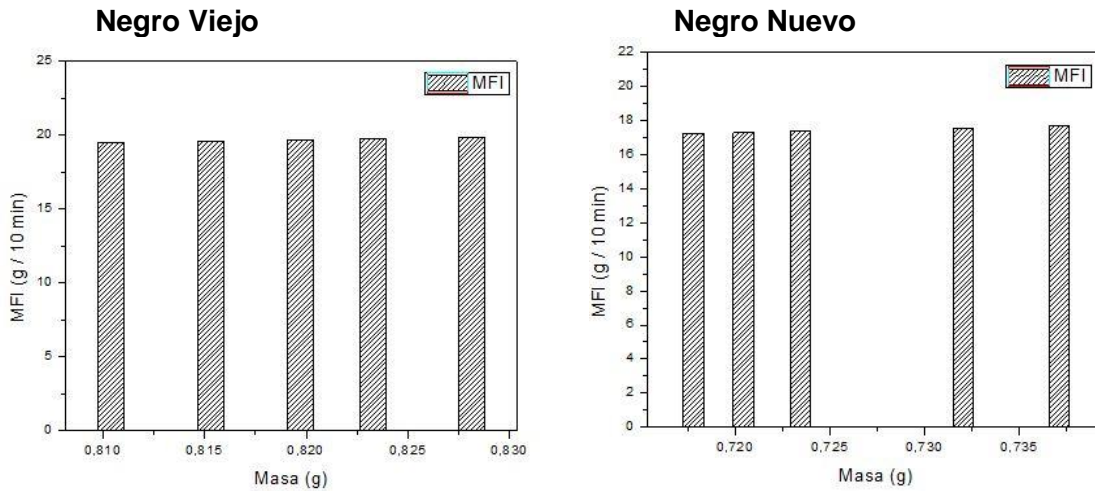


Figura 42. MFI del PEAD recolectado en la semana 6, color negro.

Tabla 36. Rango de MFI para PEAD de color negro, semana 6.

Material: Rango de MFI para el material PEAD negro, semana 6.				
Material Viejo			Material Nuevo	
	(g / 10 min)			(g / 10 min)
MFI máx.	19.876		MFI máx.	17.691
MFI mín.	19.450		MFI mín.	17.228
Rango	0.426		Rango	0.463

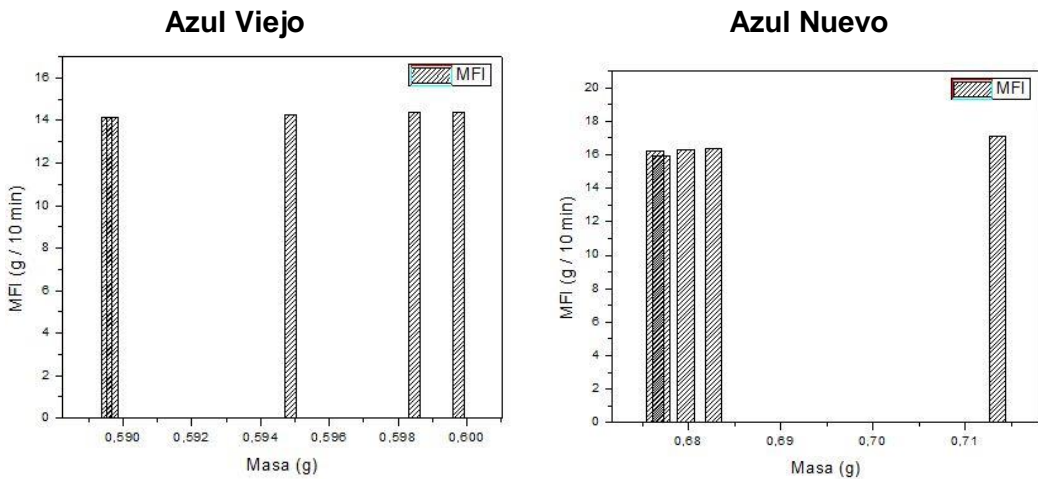


Figura 43. MFI del PEAD recolectado en la semana 6, color azul.

Tabla 37. Rango de MFI para PEAD de color azul, semana 6.

Material: Rango de MFI para el material PEAD azul, semana 6.				
Material Viejo			Material Nuevo	
	(g / 10 min)			(g / 10 min)
MFI máx.	14.394		MFI máx.	17.125
MFI mín.	14.148		MFI mín.	15.953
Rango	0.246		Rango	1.172

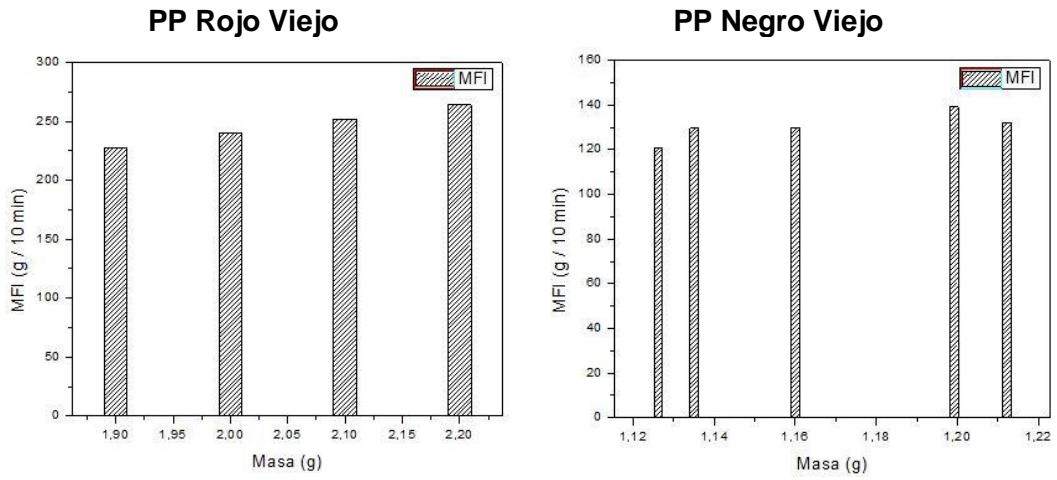


Figura 44. MFI del PP recolectado en la semana 6.

Tabla 38. Rango de MFI para el PP, recolectado en la semana 6.

Material: Rango de MFI para el material PP de color rojo y negro semana 6.				
PP Rojo viejo			PP rojo viejo	
	(g / 10 min)			(g / 10 min)
MFI máx.	264		MFI máx.	139.20
MFI mín.	228		MFI mín.	120.96
Rango	36		Rango	18.24

Datos obtenidos en la séptima semana.

Los materiales de mayor abundancia en la semana 7 fueron el PEAD y el PP de los siguientes colores: amarillo, blanco, negro y azul en tanto q para el PP se encontraron los envases de color rojo y negro.

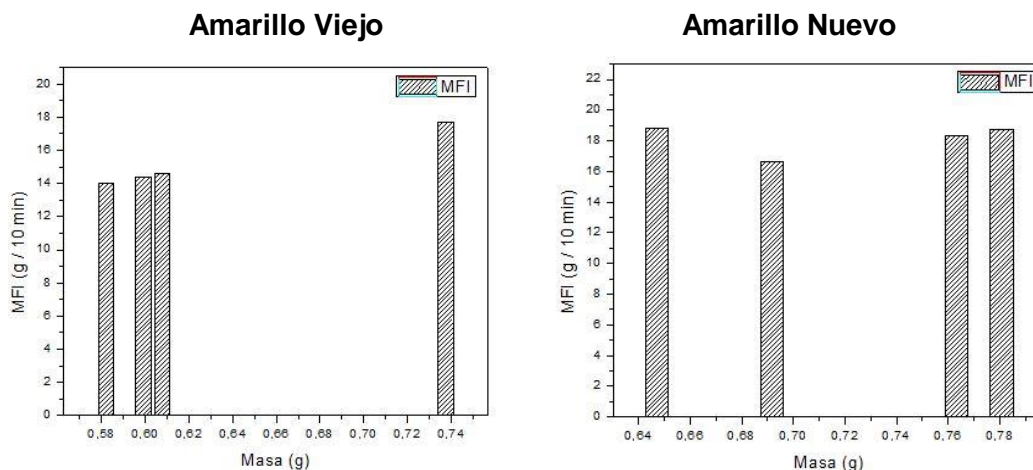


Figura 45. MFI del PEAD recolectado en la semana 7, color amarillo.

Tabla 39. Rango de MFI para PEAD de color amarillo, semana 7.

Material: Rango de MFI para el material PEAD amarillo, semana 7.			
Material Viejo		Material Nuevo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	17.699	MFI máx.	18.842
MFI mín.	13.996	MFI mín.	16.602

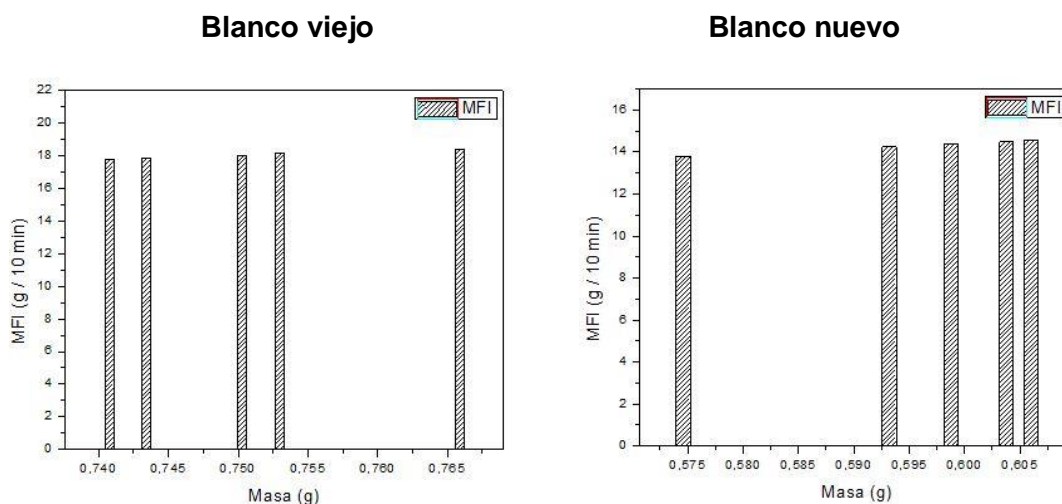
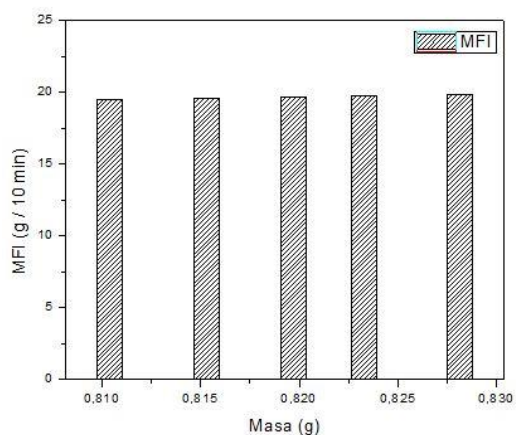


Figura 46. MFI del PEAD recolectado en la semana 7, color blanco.

Tabla 40. Rango de MFI para PEAD de color blanco, semana 7.

Material: Rango de MFI para el material PEAD blanco, semana 7.			
Material Viejo		Material Nuevo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	18.178	MFI máx.	14.823
MFI mín.	17.777	MFI mín.	13.784
Rango	0.401	Rango	1.039

Negro Viejo



Negro Nuevo

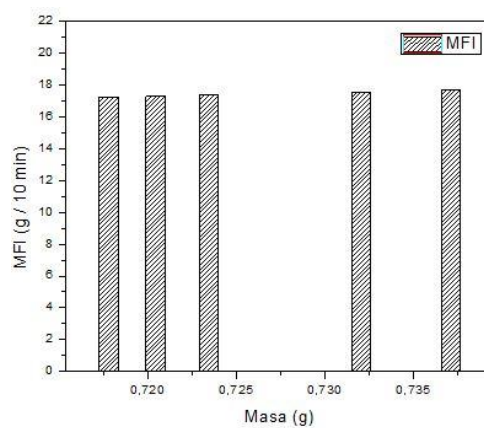
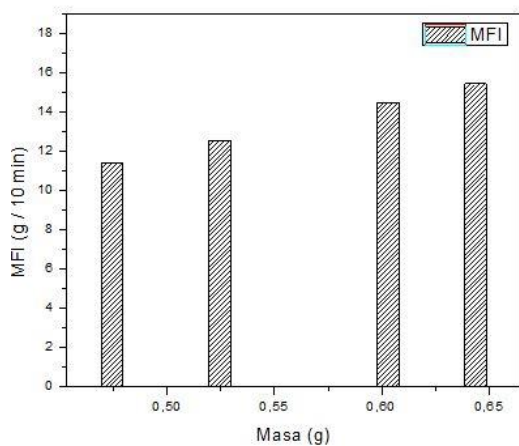


Figura 47. MFI del PEAD recolectado en la semana 7, color negro.

Tabla 41. Rango de MFI para PEAD de color negro, semana 7.

Material: Rango de MFI para el material PEAD negro, semana 7.			
Material Viejo		Material Nuevo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	19.875	MFI máx.	17.888
MFI mín.	19.422	MFI mín.	17.659
Rango	0.453	Rango	0.229

Azul Viejo



Azul Nuevo

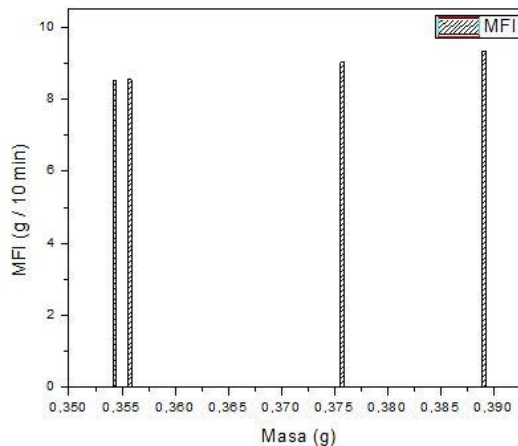


Figura 48. MFI del PEAD recolectado en la semana 7, color azul.

Tabla 42. Rango de MFI para PEAD de color azul, semana 7.

Material: Rango de MFI para el material PEAD azul, semana 7.			
Material Viejo		Material Nuevo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	15.448	MFI máx.	9.338
MFI mín.	11.384	MFI mín.	8.504
Rango	4.064	Rango	0.834

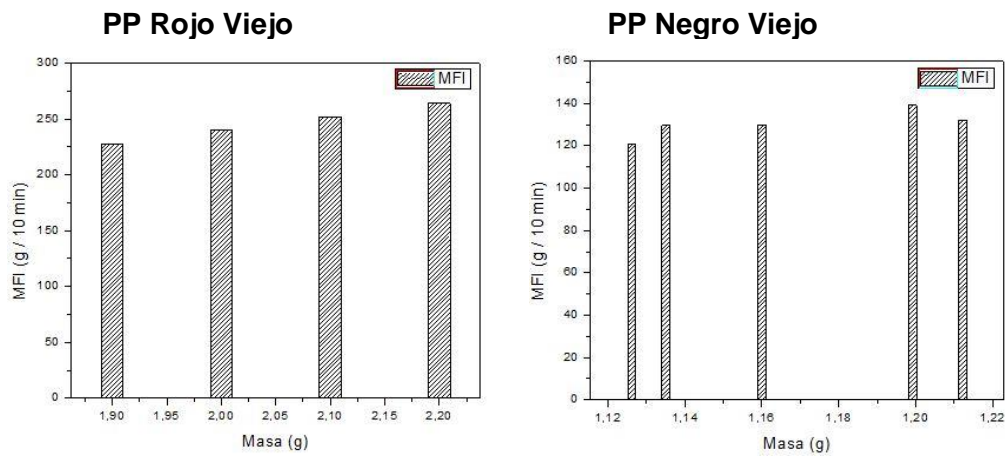


Figura 49. MFI del PP recolectado en la semana 7.

Tabla 43. Rango de MFI para el PP, recolectado en la semana 7.

Material: Rango de MFI para el material PP de color rojo y negro semana 6.				
PP Rojo viejo			PP rojo viejo	
	(g / 10 min)			(g / 10 min)
MFI máx.	264		MFI máx.	139.20
MFI mín.	228		MFI mín.	120.96
Rango	36		Rango	18.24

Resultados obtenidos en la octava semana.

Los envases de PEAD fueron de color amarillo, blanco, negro, plomo y rojo mientras que para el PP fueron de color rojo y negro.

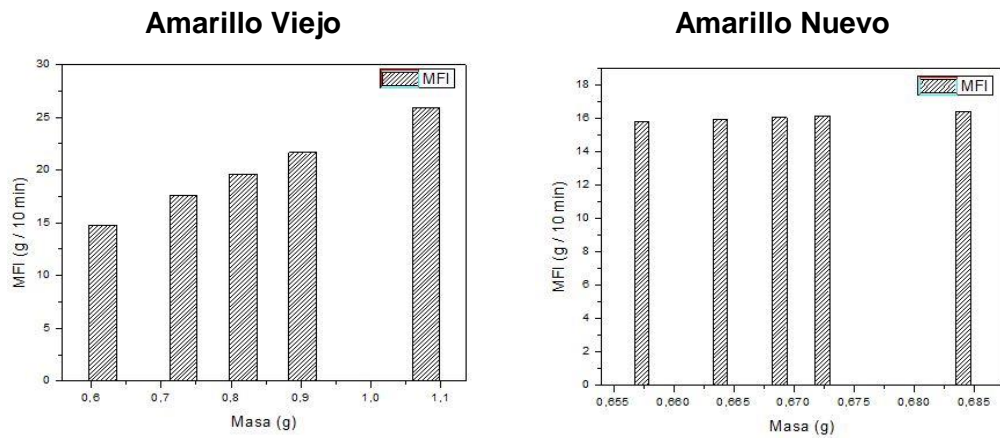


Figura 50. MFI del PEAD recolectado en la semana 8, color amarillo.

Tabla 44. Rango de MFI para PEAD de color amarillo, semana 8.

Material: Rango de MFI para el material PEAD amarillo, semana 8.			
Material Viejo		Material Nuevo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	25.884	MFI máx.	16.418
MFI mín.	14.804	MFI mín.	15.776
Rango	11.08	Rango	0.642

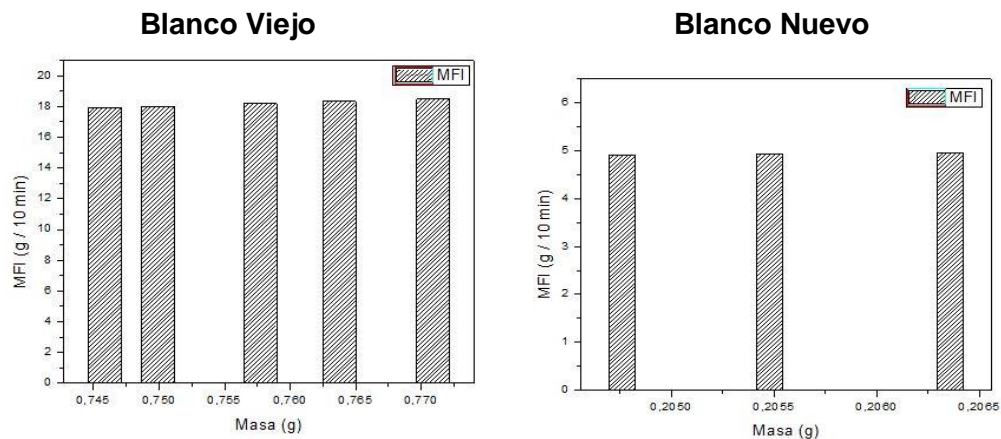


Figura 51. MFI del PEAD recolectado en la semana 8, color blanco.

Tabla 45. Rango de MFI para PEAD de color blanco, semana 8.

Material: Rango de MFI para el material PEAD blanco, semana 8.			
Material Viejo		Material Nuevo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	18.502	MFI máx.	4.954
MFI mín.	17.901	MFI mín.	4.914
Rango	0.601	Rango	0.04

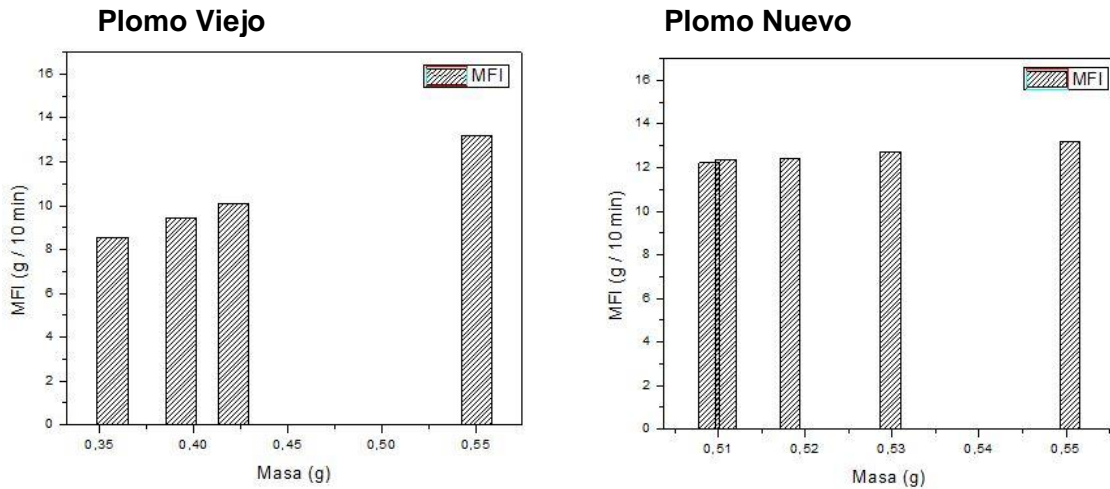


Figura 52. MFI del PEAD recolectado en la semana 8, color plomo.

Tabla 46. Rango de MFI para PEAD de color plomo, semana 8.

Material: Rango de MFI para el material PEAD plomo, semana 8.			
Material Viejo		Material Nuevo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	13.210	MFI máx.	13.210
MFI mín.	8.561	MFI mín.	12.215
Rango	4.649	Rango	0.995

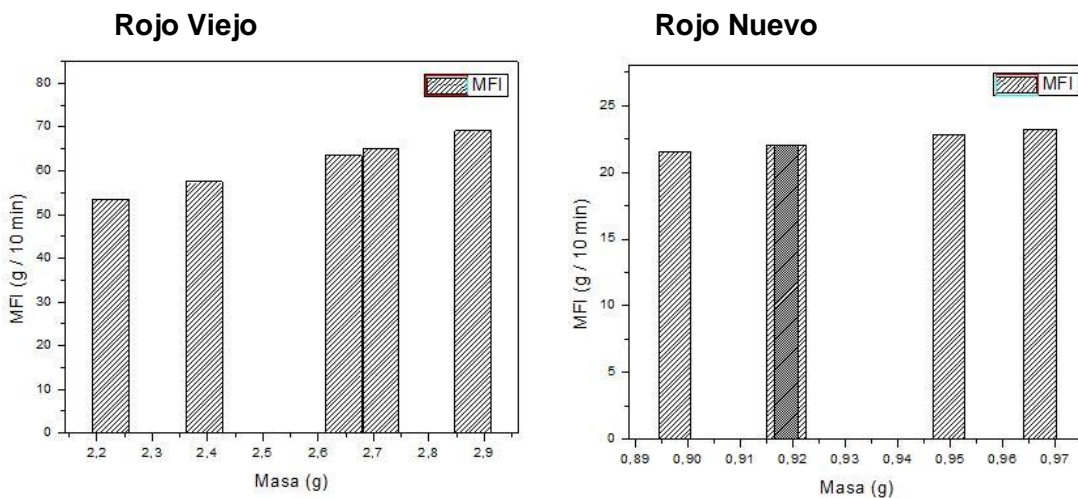


Figura 53. MFI del PEAD recolectado en la semana 8, color rojo.

Tabla 47. Rango de MFI para PEAD de color rojo, semana 8.

Material: Rango de MFI para el material PEAD rojo, semana 8.			
Material Viejo		Material Nuevo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	69.123	MFI máx.	23.210
MFI mín.	53.401	MFI mín.	21.539
Rango	15.722	Rango	1.671

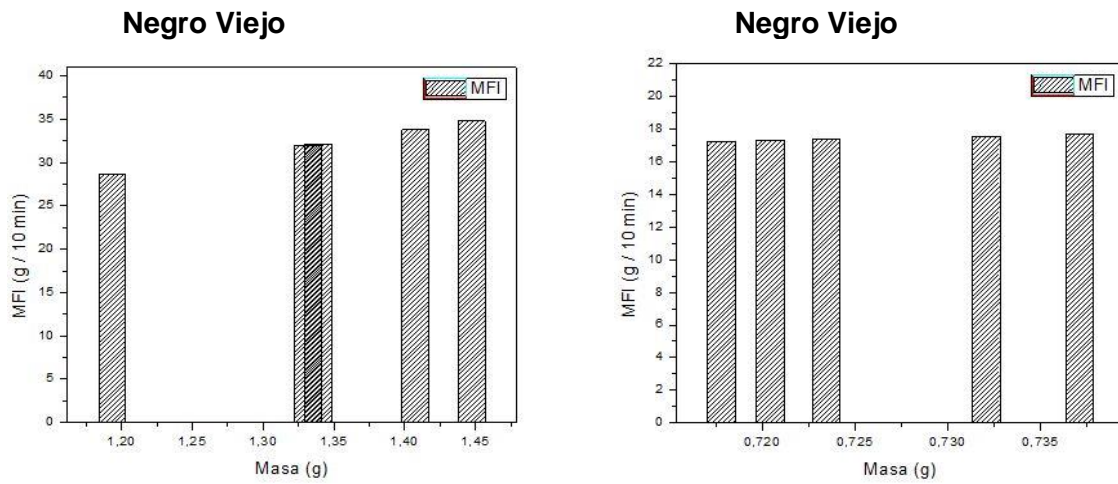


Figura 54. MFI del PEAD recolectado en la semana 8, color negro.

Tabla 48. Rango de MFI para PEAD de color negro, semana 8.

Material: Rango de MFI para el material PEAD rojo, semana 8.			
Material Viejo		Material Nuevo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	34.787	MFI máx.	17.691
MFI mín.	28.643	MFI mín.	17.290
Rango	6.144	Rango	0.401

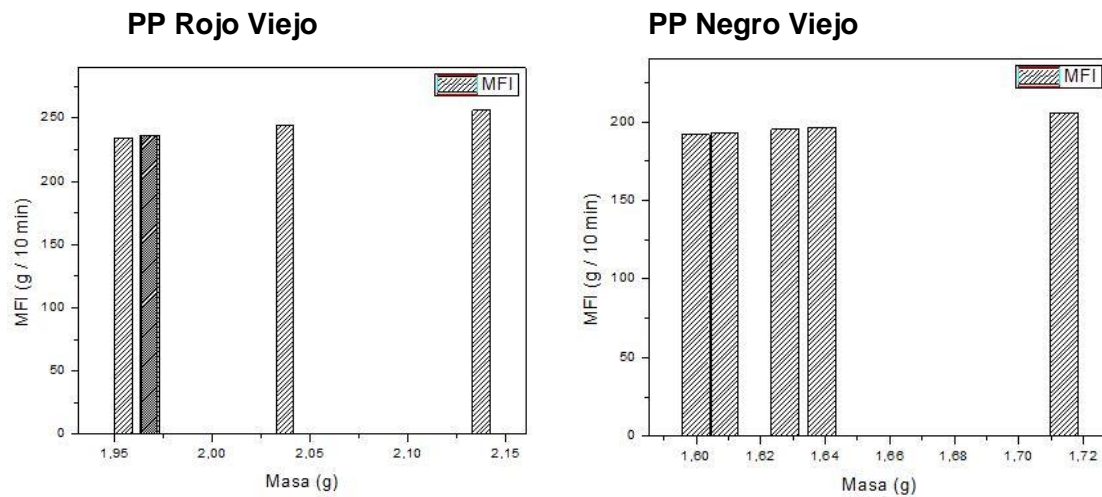


Figura 55. MFI del PP recolectado en la semana 8.

Tabla 49. Rango de MFI para el PP, recolectado en la semana 8.

Material: Rango de MFI para el material PP de color rojo y negro semana 6.			
PP Rojo viejo		PP rojo viejo	
	(g / 10 min)		(g / 10 min)
MFI máx.	256.512	MFI máx.	199.80
MFI mín.	234.528	MFI mín.	191.52
Rango	21.984	Rango	8.28

7.1.2. Resultado Plastógrafo:

Las curvas características de torque y temperatura obtenidas en cada ensayo son como se muestra en la figura 56, la variación de los valores es la única diferencia que se observó mas no la tendencia que tiene cada una de estas.

Torque vs temperatura PEAD amarillo.

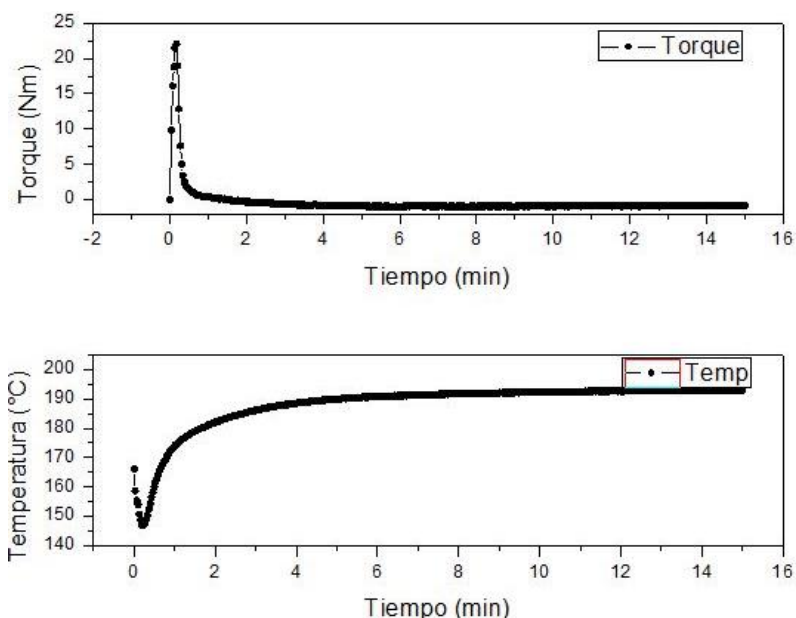


Figura 56. Curvas de Torque y Temperatura respecto al tiempo.

En la tabla 9, se muestran los resultados de torque y temperatura obtenidos después de realizar las pruebas, se puede observar para el PEAD de color amarillo caracterizado visualmente como material nuevo durante las 8 semanas de ensayo el rango de variación es mínimo en comparación con el resto de materiales ensayados ya que el rango de variación que presentan es muy amplio. En tanto que la temperatura mínima de proceso que se necesita para trabajar estos residuos de PEAD es de 192°C y un máximo de 214°C teniendo un rango de variación de 20 °C, mientras que la temperatura mínima para procesar el PP es de 226 °C y un máximo de 229 °C su rango de variación es de 3 °C.

Resultados obtenidos en el Plastógrafo							
		Nuevo			Viejo		
		Tiempo (min)	Torque Máximo (Nm)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Torque Máximo (Nm)	Temperatura (°C)
Semana 1	Amarillo	14,67	14,4	197			
	Negro	14,6	14,6	206	14,77	7,5	202
	Rojo	14,65	4,1	197	14,7	12,7	205
Semana 2	Amarillo	14,71	14,1	205	14,7	17	203
	Azul	14,93	9,6	207	14,83	4,9	199
	Blanco	14,77	15,5	208	14,63	4,2	190

	Negro	14,8	16,1	200	14,88	6,6	203
	Rojo	14,63	17,6	203	14,77	14,5	187
	PP Rojo				14,83	-6,5	229
	PP Negro				14,82	1,4	226
Semana 3	Amarillo	14,73	13,4	204			
	Azul	14,8	8,4	202	14,4	5,6	192
	Blanco	14,7	16,5	208	14,8	18,6	207
	Rojo	14,7	17,3	209	14,63	6,3	197
Semana 4	Amarillo	14,73	11,8	210	14,8	12,2	208
	Blanco	14,93	23,7	208	14,63	5,8	196
	Negro	14,93	10,6	203	14,77	8,9	201
	Plomo	14,87	8,1	208	14,8	4,8	201
	Rojo	14,3	1,3	206	14,77	14,5	187
	PP Rojo				14,87	-6,3	228
	PP Negro				14,83	1,4	226
Semana 5	Amarillo	14,77	13,2	201	14,8	13,4	204
	Blanco	14,53	3,9	209	14,83	6,8	204
	Negro	14,8	16	199	14,87	6,4	201
	Plomo	14,8	10,6	208	14,8	14,2	211
	Rojo	14,67	4	195	14,8	12,7	205
	PP Rojo				14,8	0,4	228
	PP Negro				14,83	0,1	229
Semana 6	Amarillo	14,77	14,4	205	14,67	21,4	208
	Azul	14,77	16,7	204	14,83	4,9	199
	Blanco	14,8	15,3	209	14,77	17,6	205
	Negro	14,6	14,6	206	14,77	7,5	202
Semana 7	Amarillo	14,77	13,9	209	14,8	13,1	208
	Azul	14,7	18,8	211	14,8	8,8	210
	Blanco	14,73	12,6	214	14,8	5,6	211
	PP Rojo				14,83	-6,5	229
	PP Negro				14,82	1,4	226
Semana 8	Amarillo	14,77	13,2	201	14,8	13,4	204
	Blanco	14,53	3,9	209	14,83	6,8	204
	Negro	14,8	16	199	14,87	6,4	201
	Plomo	14,8	10,6	208	14,8	14,2	211
	Rojo	14,67	4	195	14,8	12,7	205

	PP Rojo		14,8	0,4	228
	PP Negro		14,83	0,1	229

7.2. Análisis y Discusión:

7.2.1. MFI

El índice de fluidez que presentan los residuos plásticos, no lleva una tendencia lineal como se puede observar en los resultados anteriores, el rango de variabilidad que presentan los materiales de PEAD caracterizado por nuevo y viejo son bastantes dispersos, en tanto que el material de PP presenta un rango de variabilidad considerablemente pequeño en el MFI.

En la figura 57 se presenta la variación del MFI del material PEAD de color amarillo durante las ocho semanas de prueba tanto para el material nuevo y viejo.

El material viejo presenta mayor variación en su rango en comparación con el material nuevo, esto se puede deberse a una mala caracterización física de envejecimiento, o también al tipo de aditivos o reforzantes que tengan los envases, en tanto que para el material nuevo los datos son más estables, se considera que los materiales analizados contienen los mismos aditivos.

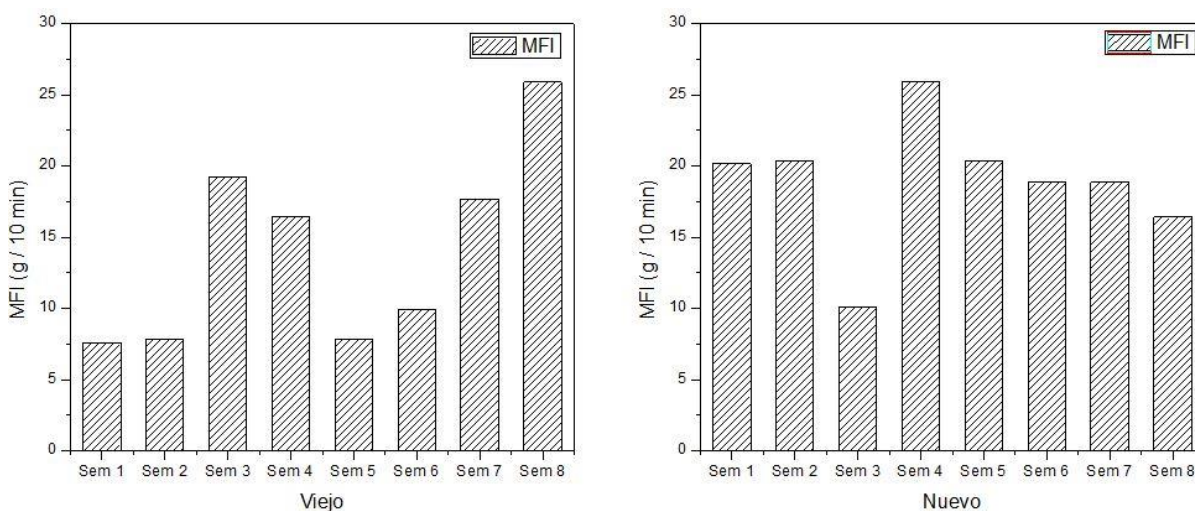


Figura 57. Comparación de resultados del MFI, color amarillo.

La variación del índice de fluidez del material PEAD de color azul se puede observar en la figura 58, presentando muy poca variación en las dos condiciones, esta variación se debe al estado físico de cada una de las muestras en cada semana analizada.

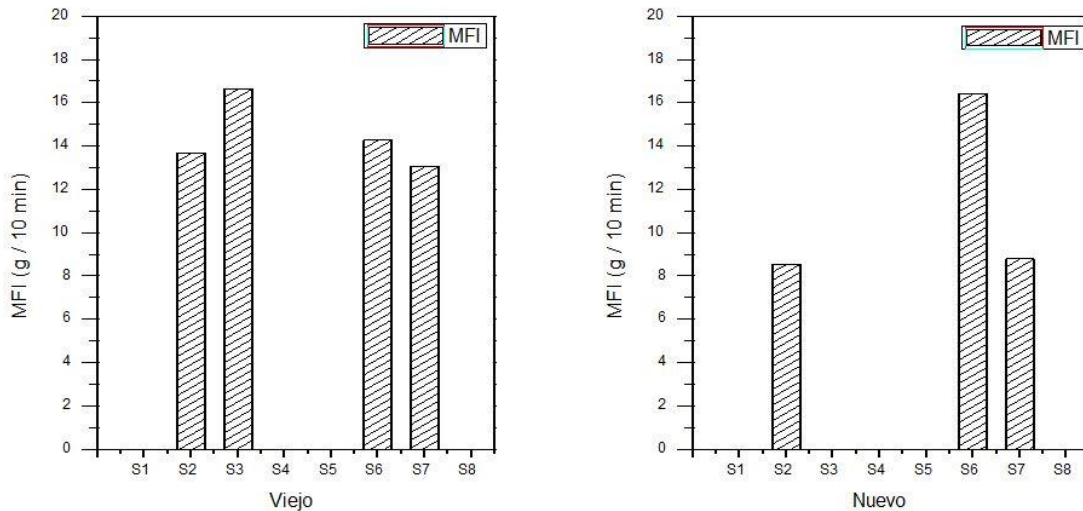


Figura 58. Comparación de resultados del MFI, color azul.

El índice de Fluidéz del PEAD de color blanco caracterizado como material viejo es aparentemente más estable no presenta gran variabilidad como lo hace el material caracterizado como nuevo, la figura 59 presenta estos resultados, este tipo de comportamiento en el que existen valores dispersos se puede dar debido a que no se tiene a certeza qué tipo de aditivos o reforzante tienen los envases.

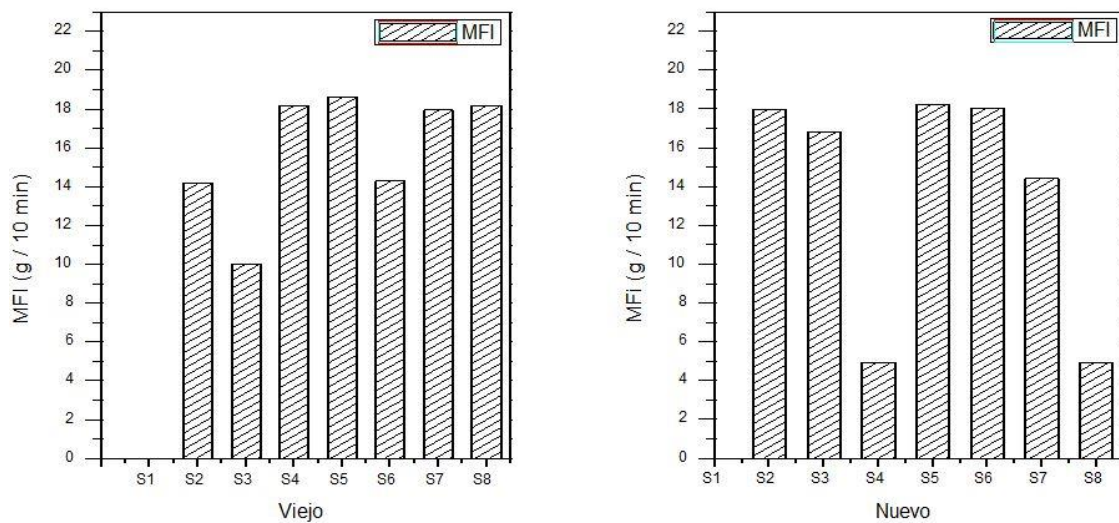


Figura 59. Comparación de resultados MFI, color blanco.

Durante las ocho semanas de pruebas con el PEAD de color negro considerado como material viejo presenta un pico en la semana 8, y el resto de semana se mantiene considerablemente estable (ver figura 60) este pico puede considerarse como un error de característica física de envejecimiento, también puede deberse a los diferentes tipos de aditivos que conforman ese envase, además el tiempo que el envase se encuentre expuesto a las condiciones externas es un papel importante para dicha variación, en tanto que para el material nuevo la variación es muy notoria durante las ocho semanas.

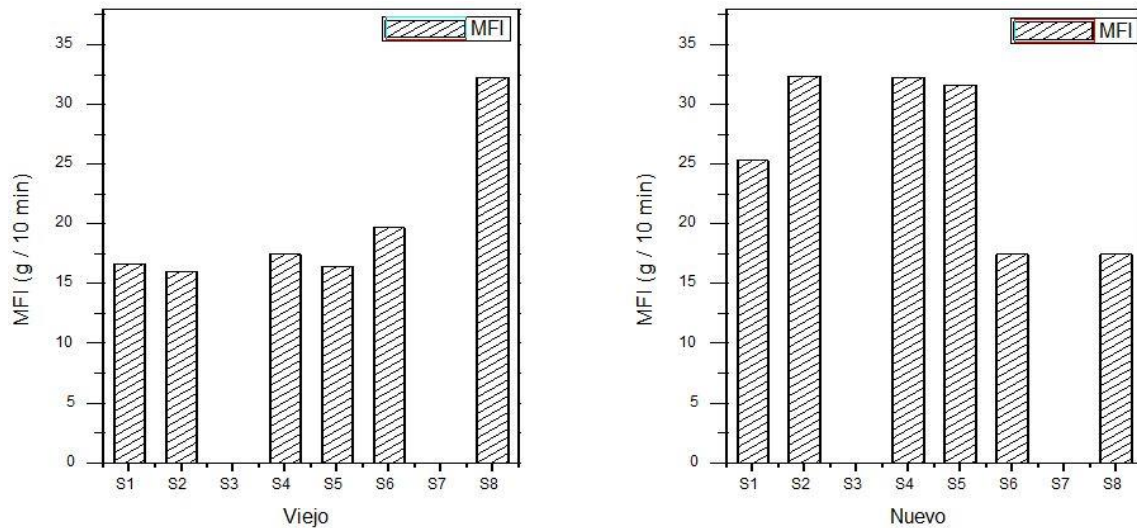


Figura 60. Comparación de resultados MFI, color negro.

En la figura 61 se puede observar la variación del índice de fluidez que presenta el PEAD de color plomo que se pudo recolectar durante las ocho semanas de ensayos, la variación que presenta cada uno es muy poco, por lo que se considera que el estado de envejecimiento no afecta en gran parte su índice de fluidez.

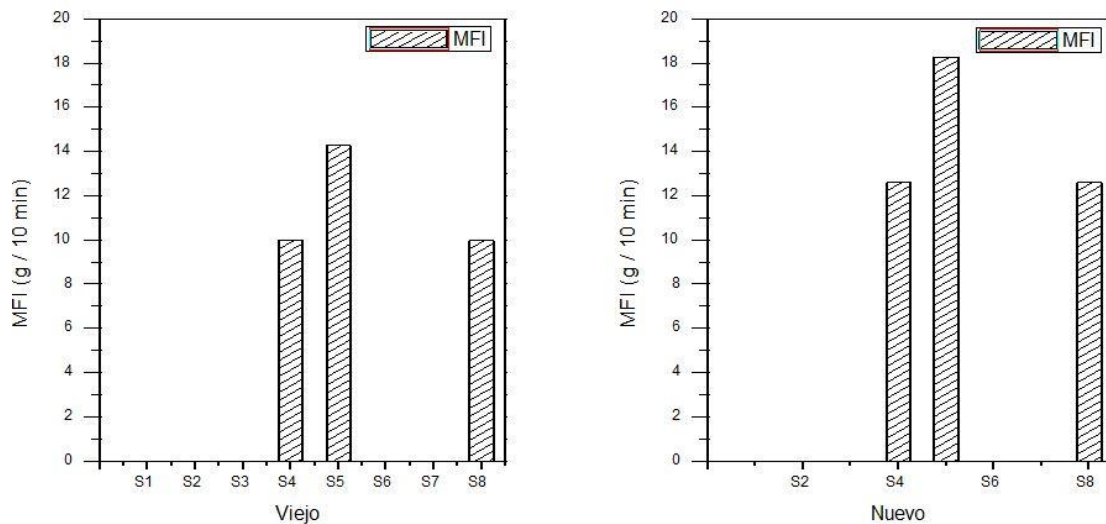


Figura 61. Comparación de resultados MFI, color plomo.

En la figura 62 se muestra el índice de fluidez de PEAD de color rojo como se puede observar que presenta mayor estabilidad para el material viejo y nuevo, los picos presentados se asumen como errores de procedimiento.

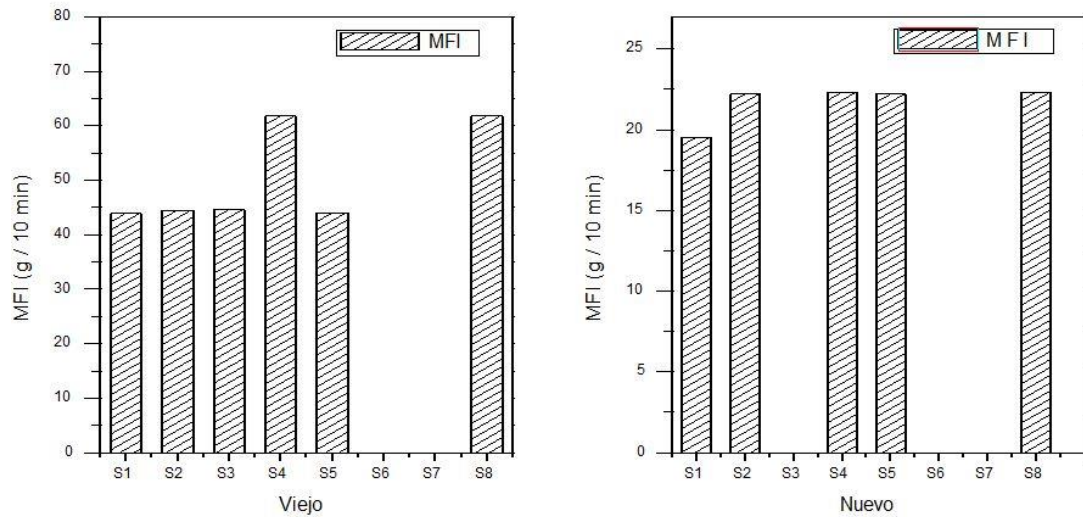


Figura 62. Comparación de resultados MFI, color rojo.

En la figura 63, se presenta el índice de fluidez del Polipropileno analizado durante las 8 semanas, se puede observar que para el PP de color rojo la variación es muy pequeño, en tanto que para el PP de color negro la variación es mayor, pero mantiene un rango estable.

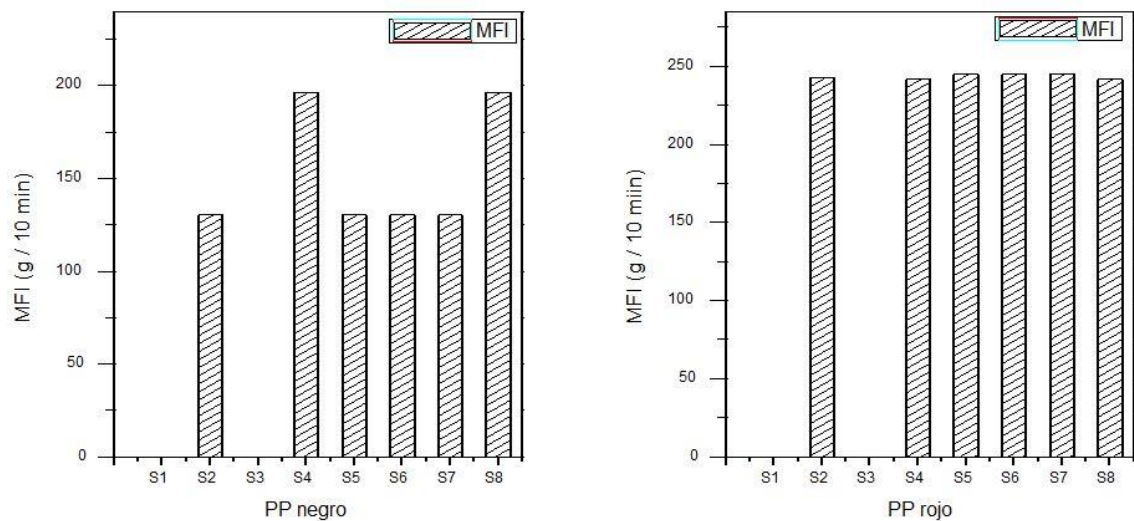


Figura 63. Comparación de resultados MFI, PP.

7.2.2. Torque Máximo

El torque máximo de cada uno de los materiales analizados durante las 8 semanas no presenta mayor variabilidad en los materiales clasificados como nuevos, en tanto que si existe una variación del parámetro de torque en los materiales caracterizados como viejos.

En la figura 64 se observa que el torque tiene un pequeño promedio de variación para el PEAD de color amarillo, el torque máximo necesario para procesar este material es

de 15 N.m en material nuevo, mientras que para el material caracterizado como viejo es de 14 N.m

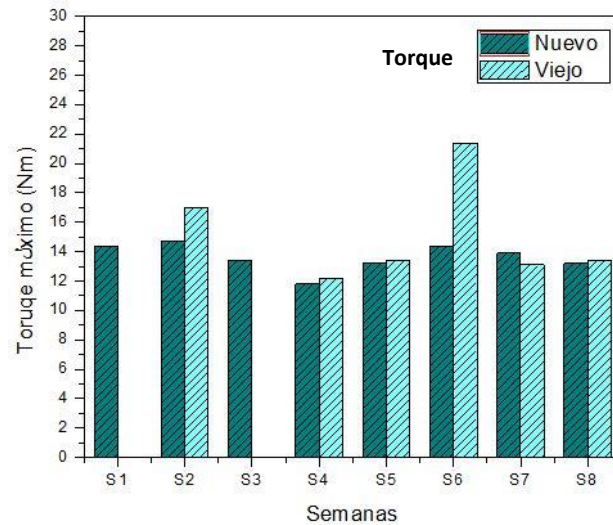


Figura 64. Variación del Torque Máximo para el PEAD de color amarillo.

El torque para el PEAD de color azul se presenta en la figura en la cual se puede concluir que se necesita un mayor torque para los materiales considerados como nuevos ya que aproximadamente se necesita un torque de 13,5 N.m, en tanto que la energía necesaria para procesar los materiales viejos es mucho menor el cual sería un valor promedio de 7 N.m.

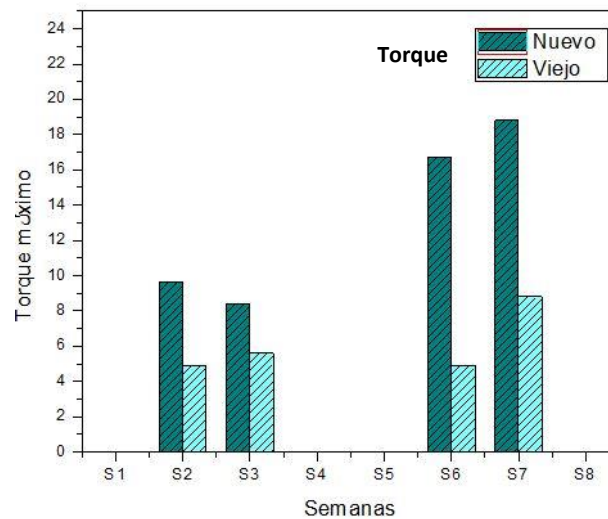


Figura 65. Variación del Torque Máximo para el PEAD de color azul.

El PEAD de color blanco presenta un rango de variación únicamente entre semanas y no varía de acuerdo a la clasificación realizada (ver figura 66), mostrando que el tiempo de exposición a las condiciones climáticas exteriores afecta sus características, el torque caracterizado como nuevo presenta un torque de 16 N.m, y para el viejo se tiene un valor de 9 N.m

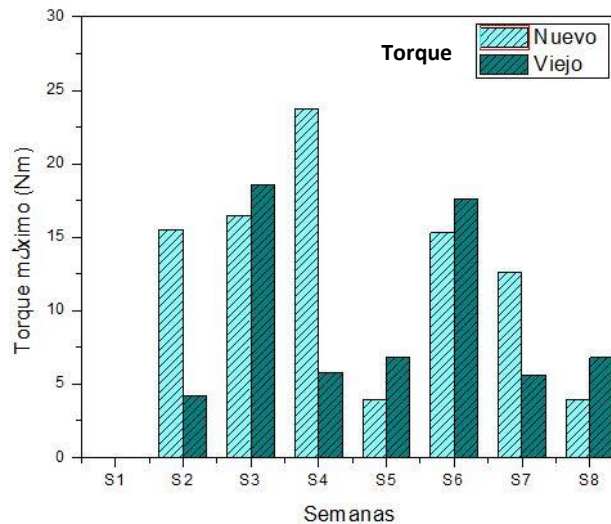


Figura 66. Variación del Torque Máximo para el PEAD de color blanco.

El torque máximo para el PEAD de color negro es muy variante entre el material nuevo y viejo (ver figura 67), mientras que el rango de variación entre semanas es pequeño, es decir este material no se ve afectado por la degradación que sufre al estar expuesto a las condiciones climáticas, el torque para el material caracterizado como nuevo es de 15 N.m, y para el material viejo sería de 8 N.m.

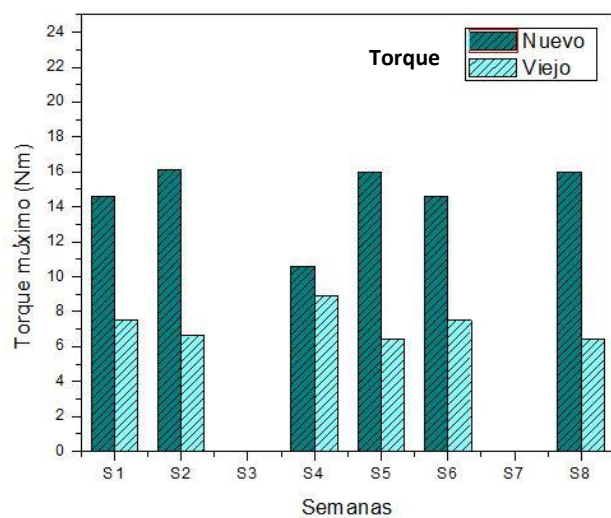


Figura 67. Variación del Torque Máximo para el PEAD de color negro.

Para el PEAD de color rojo el rango de variación del torque es muy variante (ver figura 68), llevando a la conclusión de que las características reológicas de este material se ven afectado por todos los aspectos que se consideran en este trabajo, para el material caracterizado como nuevo se tiene un valor de 9 N.m, y para el material viejo se tendría un torque de 12 N.m, esto se puede deber al tamaño de pellet, como también el tipo de aditivo o reforzante que los envases presentaron.

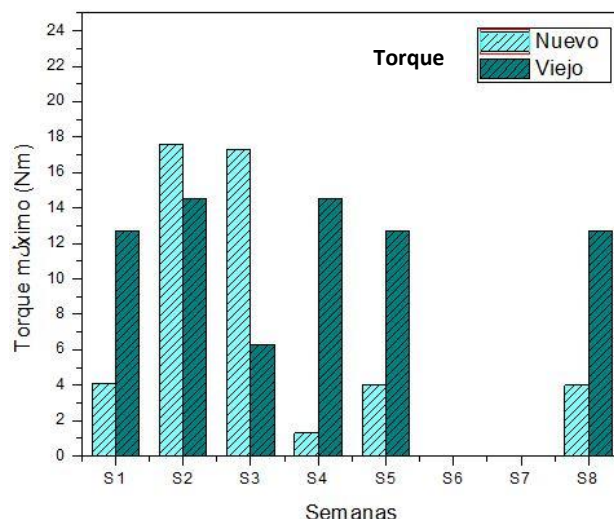


Figura 68. Variación del Torque Máximo para el PEAD de color rojo.

7.2.3. Temperatura de degradación

El rango de la temperatura de degradación se presenta en la tabla 50, en la cual se puede observar que para el PEAD de color rojo tiene un rango de variación muy significativo en los dos estados considerados en tanto que el de color negro no varía en gran medida.

Para el PP analizado el rango de variación es muy pequeño estos valores se pueden asumir como errores de operación o procesamiento de datos, debido a que el equipo Plastografo presenta una toleración de ± 5 °C, y el rango de variación obtenida es de 3 °C que se enmarca dentro de la tolerancia especificada.

Tabla 50. Rango de temperaturas de degradación.

Rango de Temperatura de degradación del PP y PEAD reciclado						
Color	Nuevo			Viejo		
	Temp. mín.	Temp. máx.	Rango	Temp. mín.	Temp. máx.	Rango
Amarillo	197	210	13	203	208	5
Negro	199	206	7	201	203	2
Rojo	195	209	14	187	205	18
Azul	202	207	5	192	210	18
Blanco	208	214	6	190	211	21
Plomo	208	208	0	201	211	10
PP rojo				228	229	1
PP negro				226	229	3

8. Conclusiones y recomendaciones:

8.1. Conclusiones:

- La variación del Índice de Fluidez de los residuos plásticos clasificados visualmente como material nuevo y viejo presentan una gran variabilidad, ésta variación es más notoria en el PEAD de color amarillo, blanco y negro tanto en nuevos como en viejos, mientras que para los de color azul, rojo y plomo es mínima, por otro lado los materiales de PP no presentan mayor variabilidad en su índice de fluidez, el parámetro en mención puede estar relacionado directamente con variables de ruido como aditivos, colorantes y el tiempo expuesto al medio ambiente, es por ello que la variación es muy dispersa ya que con el procedimiento realizado no se logra identificar estas variables.
- Los torques máximos de los envases analizados no se ven afectados por el color en el PEAD y PP, la variación que presenta cada uno de estos análisis se ve afectada directamente por el tamaño de pellet utilizado, ya que mientras más grande el tamaño de pellet utilizado, mayor energía se necesitara para realizar el ensayo, otro de los factores que influyen es el tiempo que el envase se encuentra expuesto a las diferentes condiciones climáticas.
- La temperatura de degradación de los residuos plásticos analizados, no presenta mayor variabilidad para los materiales de Polipropileno durante los ensayos realizados sin importar el color, la temperatura máxima a la cual se llegó es de 229 °C existiendo un rango de variación de apenas 3 °C, en tanto que para los materiales de PEAD el rango de variación es mucho más amplio 19 °C. La variación de este factor está relacionada directamente con los aditivos usados durante su procesamiento y no se ve afectado en gran medida por el tiempo en el que pase expuesto a las condiciones climáticas.

8.2. Recomendaciones

- Se recomienda conocer el efecto que causa cada uno de los aditivos en la matriz polimérica para facilitar el proceso de reciclado y posterior procesamiento en conjunto de cada uno de los envases.
- El tamaño y la forma del pellet a utilizar es uno de los factores que pueden llevar a que los resultados sean variantes, procurar que el tamaño sea el mismo.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. G. GUTIERREZ, «Caracterización del polipropileno reciclado disponible a partir de tapas, para reincorporarlo en procesos productivos, mezclado con polipropileno virgen», p. 102.
- [2] S. Kalpakjian y S. R. Schmid, *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson Educación, 2002.
- [3] Miguel Ángel del Val Melus, «Estudio de laboratorio para la caracterización como material de fimes de carreteras de los plásticos procedentes del tratamiento de residuos sólidos urbanos», Tesis, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 1985.

- [4] Universidad Técnica de Estudios para la Industria, «Industria de Plásticos», UTEPI - Ministerio de Industria y Comercio, Paraguay, VIII, jun. 2009.
- [5] J. P. G. Pérez, «La industria del plástico en México y el mundo», p. 4, 2014.
- [6] «La contribución de los materiales plásticos al desarrollo sostenible», *PlasticsEurope*, 14-abr-2010.
- [7] Fernando Gacrcía, «Proceso de manufactura y diseño parte 1: Termoplásticos», *Univ. Manch. Inst. Sci. Techonology*, vol. XIII, n.º 1, jun. 1999.
- [8] I. E. R. Girón, «UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA», p. 126.
- [9] MIGUEL_ANGEL_DEL_VAL_MELUS. Estudio de laboratorio para la caracterización de filmes procedentes del tratamiento de residuos sólidos urbanos, Tesis, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 1985.
- [10] J. L. B. VIOLETH y E. M. C. HERRERA, «Residuos Solidos Urbanos», p. 124, 2016.
- [11] J. M. Arandes, J. Bilbao, y D. L. Valerio, «Resiclado de residuos plásticos», p. 18, 2004.
- [12] A. E. Grimm, P. R. Bonelli, y A. L. Cukierman, «Degradación Térmica de mezclas de residuos Lignocelulosicos: caracterización cinética», p. 6.
- [13] J. A. Careaga, *Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes*. Instituto Nacional de Ecología, 1993.
- [14] España, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, y Centro de Publicaciones, *Producción de polímeros mejores técnicas disponibles de referencia europea: documento BREF*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Centro de Publicaciones, 2009.
- [15] C. A. B. Fernández, «EFECTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN EMBALSE», p. 82, 2008.
- [16] Iberdrola, «Estudio de Impacto Ambiental de la Central Hidroeléctrica San Pedro II, Provincia de Ourense», 1, Noviembre 2007.
- [17] CELEC, «Reseña Histórica», *CELEC EP Corporacion Electrica del Ecuador*. [En línea]. Disponible en: <https://www.celec.gob.ec/hidropaute/perfil-corporativo/resena-historica.html>. [Accedido: 24-sep-2018].
- [18] David Sánchez Ramos, «Ingeniería Ambiental Calidad de las Aguas».
- [19] R. B. Seymour y C. E. Carraher, *Introducción a la química de los polímeros*. Reverte, 1995.
- [20] G. RNQOCOILL, «CENTRALES HIDROELÉCTRICAS ASOCIADAS A OBRAS DE RIEGO», p. 60.
- [21] Carlos M. Escartin Hernández, «Clasificación presas en función del riesgo potencial». Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, noviembre de-1994.
- [22] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, «Construcción de presas, represas y embalses con capacidad mayor a 200 millones de metros cúbicos de agua», Bogotá D.C 2011.
- [23] C. A. H. Torres, «ANÁLISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA MULTIOBJETIVO», p. 128, 2011.
- [24] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura «Evaluación del impacto ambiental», Roma 2011 p. 52.
- [25] V. C. Mínguez, E. G. Martín, y L. G. de Paula, «SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL», p. 146.
- [26] M. A. P. Samaniego, «ESTUDIO DE EMISIONES DE METANO PRODUCIDAS POR EMBALSES EN CENTRALES HIDROELECTRICAS EN ECUADOR», p. 90.
- [27] «Nature Geoscience», *Nature Geoscience*. [En línea]. Disponible en: <https://www.nature.com/ngeo/>. [Accedido: 26-sep-2018].
- [28] C. Wan, C. Lu, D. B. Todd, L. Zhu, y V. Tan, «Determining Melt Flow Index On-line using a Helical Barrel Rheometer», p. 5.

- [29] «Generalidades con Logo». [En línea]. Disponible en: https://www.esenttia.co/downloadableFiles/technologyServices/informacionPolipropileno/421_Generalidades_con_Logo.pdf. [Accedido: 30-ago-2018].
- [30] A. F. Rigail y Cedeño, «Aplicaciones del Melt Flow Index (MFI) en la Industria de procesamiento de plásticos», *Rev. Tecnológica ESPOL*, vol. 19, n.º 1, oct. 2006.
- [31] A. Espinoza y J. Andrés, «Análisis de la variación de la temperatura de degradación, índice de fluidez y el torque máximo del polietileno de alta densidad en mezclas de material puro con pigmentos y material reciclado», p. 30.
- [32] Fransisca Daniela Pinet Cabezón, «Simulació Fluidodinámica Computacional para la determinación de la variación de la energía e tramos rectos de tubería de flujos Bifasicos», Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2012.
- [33] R. Navarro Vidal, *Influencia de la viscosidad en la incompatibilidad de mezclas de residuos de materiales plásticos en el proceso de reciclado*. 2009.
- [34] J. D. Ferry y J. D. Ferry, *Viscoelastic Properties of Polymers*. John Wiley & Sons, 1980.
- [35] R. B. Seymour y C. E. Carraher, *Introducción a la química de los polímeros*. Reverte, 1995.
- [36] A. M. M. Beltran, «Tecnología de Polímeros». [En línea]. Disponible en: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16883/1/Tema_1._Estructura_y_propiedades_de_los_polimeros.pdf. [Accedido: 01-may-2018].
- [37] «Fluidos Viscosos». [En línea]. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3623/1/tema2RUA.pdf>. [Accedido: 01-may-2018].
- [38] R. P. G. AIA, «La importancia de las características de resistencia a la cizalladura de los adhesivos cementosos modificados», p. 10.
- [39] M. B. Rico y A. M. Gomis, *Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades*. Universidad de Alicante, 2012.
- [40] ATCP Ingeniería Física, «Polímeros». [En línea]. Disponible en: <http://www.atcp.com.br/es/productos/caracterizacion-de-materiales/propiedades-materiales/tablas-propiedades/polimero-fibrosos.html>. [Accedido: 09-may-2018].
- [41] F. Floral and S. T Peters Modern Plastic Encyclopedia'96, The McGraw-Hill Companies. «Anexo B.pdf». New York.
- [42] A. Rojas y Tim Osswald, «Determinación de la degradación térmica de polímeros por analisis de cambio de colo», *Rev. Ing.*, vol. 21, n.º 1, nov. 2015.
- [43] A. F. Rojas, L. M. Aranzazu, G. H. Gaviria, y J. I. Carrero, «Thermal degradation of polymethyl methacrylate in multiple extrusions», *Ing. Compet.*, n.º 2, p. 12, 2014.
- [44] Beatriz Posada Bustamante, «Vista de La degradación de los plásticos». [En línea]. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1408/1280>. [Accedido: 13-mar-2018].
- [45] Laura Sordo, «Proceso de Fabricación de un MASTERBATCH BIODEGRADABLE», Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelo - España, 2014.
- [46] «Es posible aditivizar resinas plásticas recicladas obteniendo ventajas técnicas y económicas, con mantenimiento de la reciclabilidad.», *Retilox*, 02-ago-2017.
- [47] «Global plastic production | Statista». [En línea]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>. [Accedido: 04-oct-2018].