

PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS
RECOLECTADOS EN LA CIUDAD DE POPAYÁN

DIANA MARCELA CERÓN MUÑOZ

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2006

PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS
RECOLECTADOS EN LA CIUDAD DE POPAYÁN

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniera Ambiental

DIANA MARCELA CERÓN M.

Director

CARLOS CÉSAR CABEZAS CÓRDOBA

Ingeniero Químico, M. Sc.

Codirectora

ARACELY ADRIANA SÁNCHEZ C.

Ingeniera Civil, M. Sc.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2006

RESUMEN

El trabajo de caracterización y transformación de los residuos plásticos se desarrolló en dos etapas, la primera de ellas fue la caracterización de los residuos plásticos recolectados en la ruta de reciclaje, para lo cual se empleó el sistema de codificación SPI y las características físicas de los polímeros, ya que en algunos casos no presentaban la codificación que permite identificar el tipo de resina con la cual se elaboraron. Se establecieron a su vez como parámetros de separación el color y el tipo de etiqueta. La información se almacenó y procesó en una base de datos llamada *Caracterización de los residuos Plásticos*, la cual se elaboró en el programa Microsoft Access 2003.

La caracterización permitió concluir que el Polietilen Tereftalato (PET) es el material que más llega a la bodega y que presenta uniformidad en el color y en el tipo de etiqueta. Es seguido por el Polietileno de Alta Densidad (PEAD) y el Polipropileno (PP) aunque con una marcada diferencia en sus cantidades frente al PET.

En la segunda etapa que comprende la transformación de los residuos plásticos se presenta la línea de procesamiento, las especificaciones técnicas de la maquinaria para el reciclaje mecánico de los materiales, cuyo propósito es producir un pellet. Para la extrusión de los materiales se presentan los intervalos de temperaturas admisibles para los diferentes polímeros y una matriz de compatibilidad entre los mismos para su procesamiento conjunto. Se recomienda para la determinación de la calidad del pellet efectuar las pruebas físicas de densidad e índice de fluidez, las cuales, permitirán inferir sobre la variación de otras propiedades de los materiales, que son igualmente influyentes en la calidad y procesamiento de estos.

La capacidad de la maquinaria instalada en la bodega para el procesamiento de los residuos plásticos es de aproximadamente una tonelada/día, la cual, al ser comparada con las cantidades de material que actualmente llegan a la bodega permite considerar que es lo suficientemente grande para permitir que la ruta de reciclaje siga creciendo.

DEDICATORIA

Este trabajo, y todo lo que el comprende, lo dedico a Dios y a mis padres, quienes han sido mi apoyo y los gestores de mi formación y preparación, pues me han dado su amor, su confianza y las oportunidades para crecer. Además porque son una gran motivación en mi vida.

A mi hermana, quien ha sido mi amiga y compañera.

A Carlos porque fue un gran apoyo y compañía durante este camino universitario.

AGRADECIMIENTOS

- § Ingeniero Carlos César Cabezas por su orientación, y acompañamiento como director.
- § Ingeniera Adriana Sánchez por su codirección.
- § Ingeniero Carlos Ardila por su colaboración en la base de datos
- § Alcaldía municipal de Popayán, por financiamiento del proyecto.
- § Al personal del relleno el Ojito por su colaboración y apoyo.
- § A Paula Leticia y su familia por su ayuda y apoyo durante el desarrollo de este trabajo.
- § Al Ingeniero Javier Fernández por su apoyo.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Carlos César Cabezas Córdoba.
Director

Guillermo Chau F.
Jurado

Mauricio Espinosa
Jurado

Popayán, Febrero de 2.006

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS	V
NOTA DE ACEPTACIÓN	6
TABLA DE CONTENIDO.....	7
LISTA DE TABLAS	10
LISTA DE FIGURAS.....	12
1 INTRODUCCIÓN	14
1.1 GENERALIDADES.....	14
1.2 OBJETIVO.....	14
1.3 BOSQUEJO	14
1.4 UBICACIÓN DE LA PLANTA DE RECICLAJE	15
2 PLÁSTICOS: CONSUMO Y RECICLAJE.....	17
2.1 PLÁSTICOS.....	17
2.1.1 PLÁSTICOS NATURALES.....	18
2.1.2 PLÁSTICOS SINTÉTICOS.....	19
2.1.3 ELASTÓMEROS.....	19
2.1.4 TERMOPLÁSTICOS.....	19
2.1.5 TERMOESTABLES.....	21
2.2 CONSUMO DE PLÁSTICO	21
2.2.1 EUROPA.....	22
2.2.2 COLOMBIA.....	25
2.2.3 TENDENCIAS	26
2.3 RECICLAJE	28
2.4 RECICLAJE DE LOS RESIDUOS PLASTICOS	29

2.4.1	RECICLAJE PRIMARIO	30
2.4.2	RECICLAJE SECUNDARIO	30
2.4.3	RECICLAJE TERCARIO	30
2.4.4	RECICLAJE CUATERNARIO.....	31
2.4.5	RECICLAJE DE PLÁSTICOS EN EUROPA.....	35
2.4.6	ESTADOS UNIDOS.....	38
2.4.7	RECICLAJE DE PLÁSTICOS EN COLOMBIA.....	39
2.4.8	POPAYÁN.....	42
2.5	CONCLUSIÓN.....	46
3	CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS.....	47
3.1	INTRODUCCIÓN	47
3.2	METODOLOGÍA DE LA CARACTERIZACIÓN.....	47
3.2.1	DURACIÓN.....	47
3.2.2	CAPACITACIÓN.....	48
3.2.3	PROCESO DE SELECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS.....	48
3.2.4	REGISTRO.....	51
3.3	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	52
3.4	CONCLUSIÓN.....	59
4	PROCESO PARA EL RECICLAJE DE RESIDUOS PLÁSTICOS	60
4.1	INTRODUCCIÓN	60
4.2	RECICLAJE MECÁNICO DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS EN POPAYÁN.....	60
4.2.1	SEPARACIÓN EN LA FUENTE.....	60
4.2.2	RECOLECCIÓN.....	61
4.2.3	RECEPCIÓN:.....	62
4.2.4	SEPARACIÓN.....	62
4.2.5	ALMACENAMIENTO.....	63
4.2.6	SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN RESIDUOS PLÁSTICOS.....	63
4.2.7	PESAJE.....	64
4.2.8	ALMACENAMIENTO.....	65
4.2.9	MOLIENDA.....	65

4.2.10	LAVADO Y SECADO.....	66
4.2.11	EXTRUSIÓN.....	71
4.3	PRUEBAS RECOMENDADAS PARA ESTABLECER LA CALIDAD DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS RECICLADOS.....	79
4.4	CONCLUSIÓN.....	84
5	CONCLUSIONES.....	86
6	RECOMENDACIONES.....	87
6.1	RECOLECCIÓN.....	87
6.2	SEPARACIÓN.....	87
6.3	ALMACENAMIENTO.....	88
6.4	ELIMINACIÓN DE LOS MATERIALES AJENOS O CONTAMINANTES.....	88
6.5	MOLIDO Y AGLUTINADO.....	88
6.6	LAVADO Y SECADO.....	88
6.7	EXTRUSIÓN.....	89
A.	TALLER DE CAPACITACIÓN.....	91
B.	FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	97
C.	PROPIEDADES Y PRINCIPALES APLICACIONES DE LAS RESINAS PLÁSTICAS.....	98
D.	COMPENDIO DE DATOS.....	103
E.	MANUAL BASE DE DATOS.....	109
F.	VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DURANTE EL DESARROLLO DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS.....	115
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Polímeros de mayor consumo en Colombia entre los años 2001 a 2003 (miles de toneladas).....	25
Tabla 2. Poderes caloríficos típicos	31
Tabla 3. Variables en el reciclaje de los residuos plásticos.....	32
Tabla 4. Aplicaciones de los residuos recuperados.....	33
Tabla 5. Aplicación de residuos plásticos mezclados.....	35
Tabla 6. Número de empresas comercializadoras y recicladoras por tipo de polímero	41
Tabla 7. Número de Empresas por ciudades.....	42
Tabla 8. Composición física de los residuos sólidos de Popayán.....	43
Tabla 9. Proyección del material plástico reciclable en Popayán 2003-2023.....	45
Tabla 10. Áreas requeridas para el almacenamiento y proceso de los Residuos Sólidos (m ²).....	45
Tabla 11. Sistema de Codificación de la Sociedad de Industrias de Plásticos (SPI) de Estados Unidos	49
Tabla 12. Características ópticas de algunos polímeros.....	50
Tabla 13. Cantidades de los residuos plásticos caracterizados por polímero	58
Tabla 14. Cantidades de los materiales no caracterizados.....	59
Tabla 15. Accesorios para el tanque de agua.....	68
Tabla 16. Accesorios para el tanque de la solución de detergente.....	69
Tabla 17. Intervalos de temperatura para el proceso de extrusión.....	77
Tabla 18. Matriz de compatibilidad para reciclado mecánico	78
Tabla 19. Variación de propiedades físicas y térmicas en función de la disminución de la densidad y aumento en el índice de fluidez.....	80
Tabla 20. Principales tipos de cargas y sus funciones	82
Tabla 21. Resultados de pruebas realizadas al PET virgen, PET reciclado pos industrial y pos consumo.....	84

Tabla 22. Parámetros característicos de los polímeros.....	99
Tabla 23. Propiedades y principales aplicaciones de las resinas plásticas.	100
Tabla 24. Valoración de impactos- acondicionamiento de residuos plásticos	116
Tabla 25. Matriz de Manejo Ambiental – Acondicionamiento de Residuos Plásticos.	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización espacial del relleno.	16
Figura 2. Disposición molecular de los Termoplásticos.....	20
Figura 3. Consumo de materias primas hasta el año 2000.....	22
Figura 4. Consumo de plásticos por resina en Europa Occidental.....	23
Figura 5. Consumo de plástico por sectores productivos en Europa Occidental. ...	24
Figura 6. Consumo de material reciclado y virgen en Europa Occidental.....	24
Figura 7. Consumo de resinas plásticas en Colombia por sectores productivos. ...	26
Figura 8. Consumo per cápita de plásticos en el mundo, proyectado al año 2010.27	
Figura 9. Crecimiento de las diferentes resinas hasta el 2010.....	28
Figura 10. Tratamiento de los residuos plásticos por sectores en Europa.....	38
Figura 11. Distribución de algunos de los residuos sólidos en la ciudad de Popayán por estratos.....	44
Figura 12. Distribución de los polímeros en el plástico recuperado en la ruta de reciclaje.....	54
Figura 13. Codificación de los residuos plásticos.....	55
Figura 14. Distribución de los polímeros caracterizados de acuerdo con sus coloraciones.....	56
Figura 15. Variación de las cantidades de plástico en función del tipo de etiqueta.	57
Figura 16. Materiales no caracterizados.....	58
Figura 17. Diagrama de flujo del proceso de reciclaje.....	61
Figura 18. Recepción de los residuos recuperables de la ruta de reciclaje.....	62
Figura 19. Separación de los materiales.....	63
Figura 20. Selección y clasificación residuos plásticos.....	64
Figura 21. Pesaje de los residuos plásticos.....	64
Figura 22. Almacenamiento de los residuos plásticos.....	65
Figura 23. Lavadora de plásticos.....	66

Figura 24. Esquema de los tanques para el suministro de agua de lavado.....	70
Figura 25. Esquema de un extrusor.....	71
Figura 26. Esquema de un tornillo simple de extrusión.....	72
Figura 27. Tipos de sección Mezcladora.....	74
Figura 28. Tornillos con punta de mezclado distributivo y de amasado	74
Figura 29. Características geométricas generales de los tornillos de extrusión.....	75
Figura 30. Esquema simplificado de los perfiles de flujo por arrastre y presión.....	76

1 INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Este documento presenta la caracterización de los residuos plásticos de la ciudad de Popayán y una propuesta para el aprovechamiento y valorización de los mismos mediante un proceso mecánico. La recuperación y valorización de estos residuos se enmarca en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la ciudad y su operación se desarrolla en la bodega de reciclaje de Popayán ubicada en el relleno sanitario el Ojito.

1.2 OBJETIVO

El propósito de este trabajo es realizar la caracterización física y cuantitativa de los plásticos que se reciben en la bodega de reciclaje de Popayán. Así mismo busca establecer los parámetros de cantidad, estado y calidad que deberán cumplir los diferentes tipos de plásticos con visión a ser procesados en la bodega de reciclaje. Finalmente pretende diseñar un proceso que permita la obtención de materias primas a partir de los residuos plásticos.

1.3 BOSQUEJO

El documento del proceso de transformación de los residuos plásticos recolectados en la ciudad de Popayán se desarrolla en seis capítulos. En el primero de ellos se hace la introducción al tema, se hace la descripción y presentación del trabajo por capítulos.

El segundo capítulo, titulado Plásticos: Consumo y Reciclaje, presenta las definiciones, clasificaciones y características del plástico y el reciclaje, y su evolución en Europa, Estados Unidos, Colombia y Popayán básicamente.

En el tercer capítulo, se presenta la metodología, desarrollo y resultados del proceso de caracterización de los residuos plásticos recolectados por la ruta de reciclaje en la ciudad de Popayán.

En el cuarto capítulo se hace una descripción y presentación del tratamiento mecánico de los residuos plásticos a implementarse en la ciudad, con el cual se obtendrá pellet como producto final.

En el quinto capítulo se presentan las conclusiones generales del trabajo y en el sexto capítulo las recomendaciones para las diferentes etapas del proceso de recuperación de los residuos plásticos.

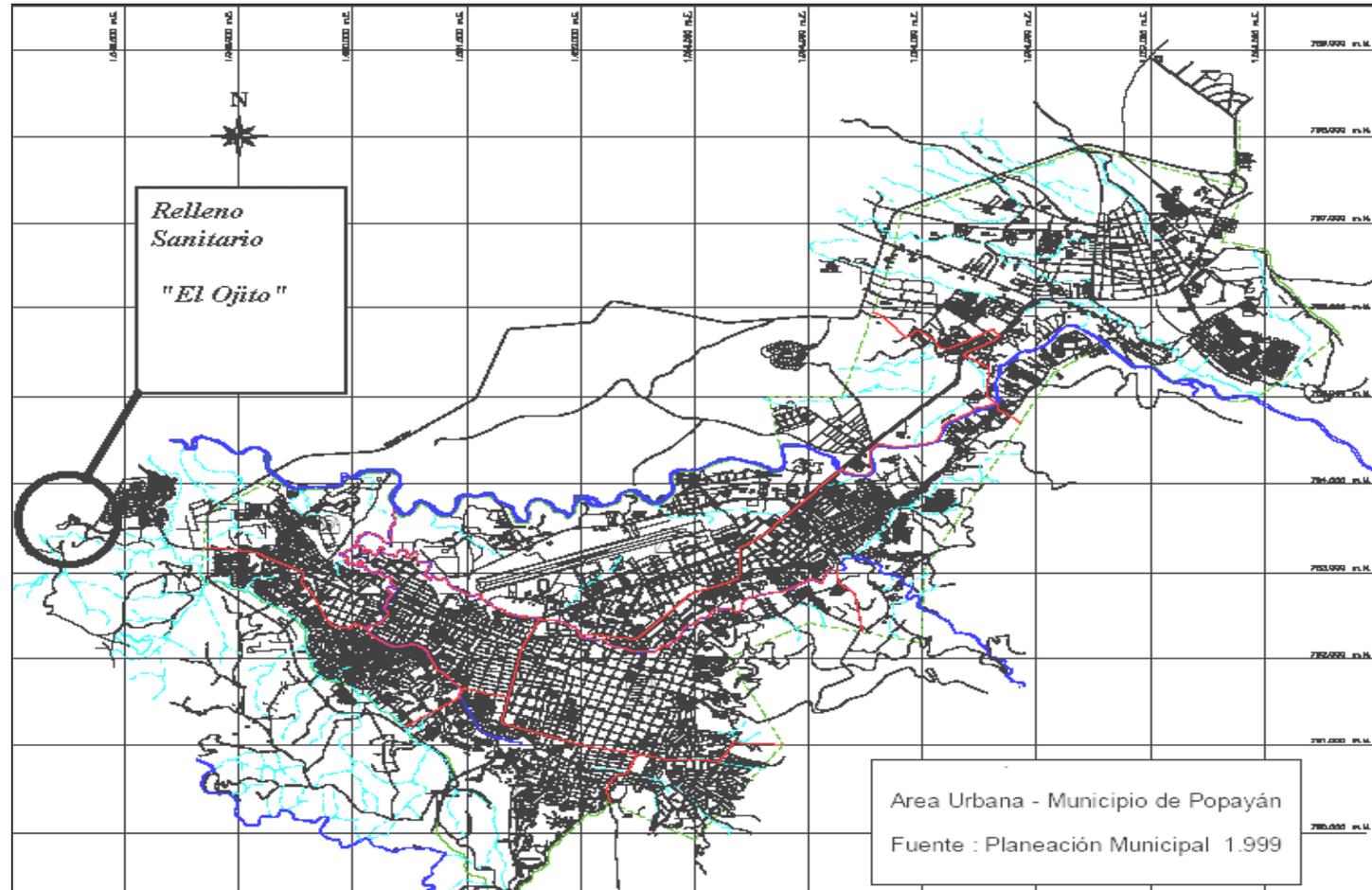
1.4 UBICACIÓN DE LA PLANTA DE RECICLAJE

La planta de reciclaje se encuentra en el relleno sanitario el Ojito de la ciudad de Popayán, el cual tiene un área de 11.18 Has y está ubicado en el Kilómetro 7 de la vía Popayán - El Tambo a 1770 msnm y con una temperatura promedio de 19°C. La localización espacial del relleno se presenta en la

Figura 1.

La administración del relleno sanitario y de la bodega de reciclaje es desarrollada por la administración municipal de Popayán.

Figura 1. Localización espacial del relleno.



Fuente: Planeación Municipal

2 PLÁSTICOS: CONSUMO Y RECICLAJE

Este capítulo presenta inicialmente una introducción a los materiales plásticos y al reciclaje, con el fin orientar y enfocar al lector en el tema, mediante una presentación de la definición, clasificación, características y evolución de los mismos.

2.1 PLÁSTICOS

Los plásticos son materiales a base de polímeros orgánicos que se obtienen por modificación química de sustancias naturales como el petróleo crudo, el gas natural o sustancias sintéticas. Algunas materias primas necesarias en la producción los distintos plásticos son el metano, etileno, propileno, benceno, acetileno, naftaleno, tolueno y xileno; pueden presentarse en diferentes formas: líquidos, piezas moldeadas sólidas, masas pegajosas, hojas y fibras.

Los plásticos son definidos por la sociedad industrial de plásticos de Estados Unidos (Society of the Plastics Industry) como "Cualquiera de los materiales pertenecientes a un extenso y variado grupo que consta en su totalidad o parcialmente de combinaciones de carbono con oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y otros elementos orgánicos o inorgánicos que, aunque son sólidos en su estado final, en ciertas etapas de su fabricación existen como líquidos y por lo tanto, presentan la capacidad de ser conformados en diversas formas, generalmente por aplicación, ya sea por separado o en combinación, de presión y calor."[16]

Los plásticos se producen a través de un proceso llamado polimerización que consiste en la unión química de monómeros para formar polímeros, lo cual significa que, al igual que en una cadena, se van uniendo pequeños eslabones idénticos. El tipo de "eslabón" y el tamaño y la estructura (lineal / ramificada) de cada "cadena" o molécula de polímero determinan las propiedades del material plástico.

En la fabricación de los plásticos existen dos vías posibles de polimerización, adición y condensación. En la adición los plásticos se forman por una combinación de moléculas iguales, lográndose una cadena, generalmente con la ayuda de un catalizador; como ejemplo se tiene la producción del Polietileno, Polipropileno, Cloruro de Polivinilo. En la condensación la reacción de dos moléculas diferentes da por resultado una tercera, que se polimeriza, se procesan de esta manera el Polietilentereftalato y Nylon.

Se pueden producir distintos grados y variantes de los materiales manejando las condiciones bajo las cuales los polímeros son fabricados y procesados e incluyendo distintos aditivos, como pigmentos, lubricantes y estabilizadores. Los dos tipos fundamentales de proceso a los cuales se los somete para obtener los diferentes productos finales son moldeo y extrusión. En el moldeo el plástico fundido es forzado, mediante calor y presión, a tomar la forma del molde deseado. Dentro de esta categoría se encuentran:

Moldeo por inyección: el polímero es precalentado hasta volverse fluido, una vez realizada esta operación se empuja hacia la cavidad del molde mediante aplicación directa de presión hidráulica o mecánica. Cuando el polímero adquiere solidez, el molde se abre y el producto terminado es retirado.

Moldeo por compresión: la resina en forma de material aglomerado o de polvo seco es colocado en un molde y se compacta mecánicamente para producir el producto final que se desea, luego se aplica calor y presión para fundir la resina y hacer que fluya a través del molde. [11]

Moldeo por soplado: un tubo de polímero "ablandado" es cortado al tamaño deseado y puesto dentro de un molde. Se le insufla luego vapor o aire comprimido y el tubo toma la forma del molde; de esta manera se fabrican, por ejemplo las botellas.

Moldeo por rotación: la cavidad del molde gira y la fuerza centrífuga hace que la resina fluya hacia el molde. Se requiere para licuar la resina. Es un proceso conveniente para fabricar partes de gran tamaño y los productos tienen pocos esfuerzos internos y espesores de pared uniformes.

En la extrusión el plástico fundido es forzado a pasar a través de un orificio con la forma deseada o bien entre dos rodillos. Es un proceso de manufactura popular de productos que requieren dimensiones largas de un eje, como por ejemplo las tuberías de plástico, películas, placas, etcétera. [14]

Los materiales plásticos se clasifican de acuerdo a su naturaleza en Sintéticos y Naturales, y de acuerdo a su estructura interna en Termoplásticos, Termoestables y Elastómeros.

2.1.1 Plásticos naturales

Son polímeros que tienen estructuras químicas que se caracterizan por la repetición de pequeñas unidades llamadas meros y que se producen de forma natural, se encuentran en plantas y animales tales como el asta natural, la goma laca, la gutapercha y la goma de caucho; ejemplo de materiales poliméricos de gran demanda comercial actualmente son el algodón que está formado por fibras

de celulosa, la lana que es una proteína del pelo de la oveja y la seda que es una poliamida similar al nylon.

Durante mucho tiempo los plásticos naturales combinaron las propiedades de ligereza, solidez, resistencia al agua, translucidez y capacidad del moldeo; su potencial era evidente pero resultaba difícil reunir dichos materiales, o se disponían de ellos únicamente en volúmenes o tamaños limitados. En todo el mundo se trató de perfeccionar los plásticos naturales o buscar sustitutos. Con la obtención de plásticos naturales modificados, se transformó la materia prima natural, por ejemplo, las fibras de algodón o la goma de caucho, en formas nuevas o mejoradas [16]. La celulosa que se encuentra en la madera y en los tallos de muchas plantas, es empleada para fabricar telas y papel.

2.1.2 Plásticos sintéticos

En 1907 el químico e investigador Dr. Leo H. Baekeland obtuvo el primer plástico sintético, esto como resultado de la reacción química de fenol y formaldehído, al cual llamó baquelita [16]. La baquelita abrió las puertas al desarrollo de múltiples polímeros sintéticos, cuya lista hasta hoy sigue aumentando.

Fue a partir de este momento, que la investigación y fabricación permitieron la obtención de plásticos variados y versátiles, abriéndose así paso y fortaleciéndose en el mundo industrial y de producción como un material de diseño y construcción, en donde actualmente no hay una rama de la industria que no utilice algún tipo de polímero, gracias a que estos materiales pueden ser fabricados con características determinadas según el uso destinado [17].

2.1.3 Elastómeros

Son materias plásticas elásticas que se comportan como termoplásticos dentro de ciertos intervalos de temperaturas; se caracterizan por tener propiedades elásticas a la temperatura de uso, cuando son sometidos a tensión se alargan, pero cuando se suspende la tensión recuperan su forma original, la estructura molecular es similar a la de los termoplásticos amorfos, con la diferencia que después del moldeo las macromoléculas se unen químicamente generando una estructura de red floja y tridimensional, su reacción de reticulación se conoce como vulcanización, no pueden ser fundidos, debido a sus puntos de reticulación, al contacto con disolventes presentan hinchamiento, pero sin llegar a disolverse. Hacen parte de este grupo el caucho natural, caucho clorado, polibutadieno, caucho de silicona.

2.1.4 Termoplásticos

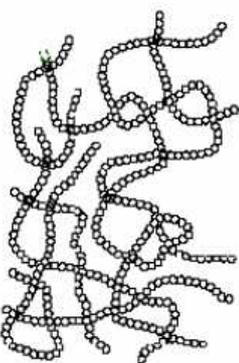
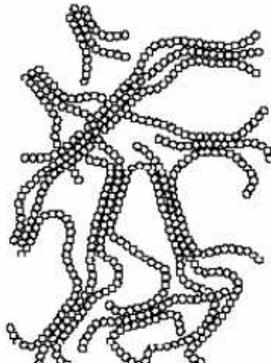
Son aquellos materiales que tienen la capacidad de ablandarse de forma repetida con el calor y de endurecerse con el enfriamiento. Están formados por moléculas filiformes paralelas, sin ningún enlace (o con muy pocos) entre ellas, se

caracterizan por ser moléculas de largas cadenas unidas por enlaces débiles los cuales se pueden romper por calentamiento, estas cadenas se pueden mover para adquirir aspecto diferente, las uniones débiles se reestablecen cuando se enfría el plástico y el material mantiene su nueva forma. La mayor parte de los plásticos hechos a partir del petróleo son termoplásticos por adición.

Como ejemplo se presentan el Polietilen Tereftalato, Polietileno, Policloruro de Vinilo, Poliestireno, Polipropileno entre otros.

Los termoplásticos presentan dos tipos básicos de disposición molecular, amorfa y cristalina. En los plásticos amorfos las cadenas moleculares no tienen orden, forman tirabuzones, se retuercen o se enrollan al azar, los plásticos amorfos se pueden identificar fácilmente, ya que son transparentes en ausencia de cargas y pigmentos pues por la disposición casual de las cadenas no interrumpe la luz de forma uniforme. Los plásticos cristalinos son aquellos plásticos cuyas moléculas adoptan una estructura muy ordenada en ciertas zonas del material. Los plásticos no cristalizan totalmente, como los metales, por lo que el término más utilizado generalmente para estos es materiales semicristalinos, ya que consisten en regiones cristalinas rodeadas de zonas amorfas, no cristalinas. Los polímeros semicristalinos presentan regiones cristalinas muy ordenadas que desvían la luz considerablemente, como resultado los materiales semicristalinos suelen ser translúcidos u opacos. Una representación gráfica de las disposiciones moleculares se presenta en Figura 2.

Figura 2. Disposición molecular de los Termoplásticos

TERMOPLÁSTICOS	
AMORFOS	SEMI-CRISTALINOS
Cadenas moleculares Ramificadas	Cadenas moleculares lineales
	

Fuente: GNAUCK, B. Frundt. Iniciación a la Química de los Plásticos, 3ra. Ed. Barcelona: Hanser. 1989.

Además de las diferencias ópticas, cuando se enfría un plástico fundido hasta un estado sólido, el material cristalino se contrae más que uno amorfo, esto se debe a que cuando se crean las regiones cristalinas estas requieren más volumen que las amorfas, debido a la cercanía de las cadenas dobladas, lo que produce una mayor contracción [16].

2.1.5 Termoestables

Llamados también termoendurecibles, son materiales que sólo son moldeables al principio a altas temperaturas, y una vez endurecidos conservan su dureza y rigidez incluso frente a la acción del calor. Están constituidos por macromoléculas orientadas en todas las direcciones y unidas entre sí por numerosos enlaces. Se caracterizan por ser moléculas de largas cadenas unidas por enlaces químicos fuertes, se transforman usualmente mediante colada, prensado e inyección, los intervalos de temperatura de uso están por encima de los de los termoplásticos, normalmente son producidos por policondensación; los polímeros basados en formaldehído son termoestables.

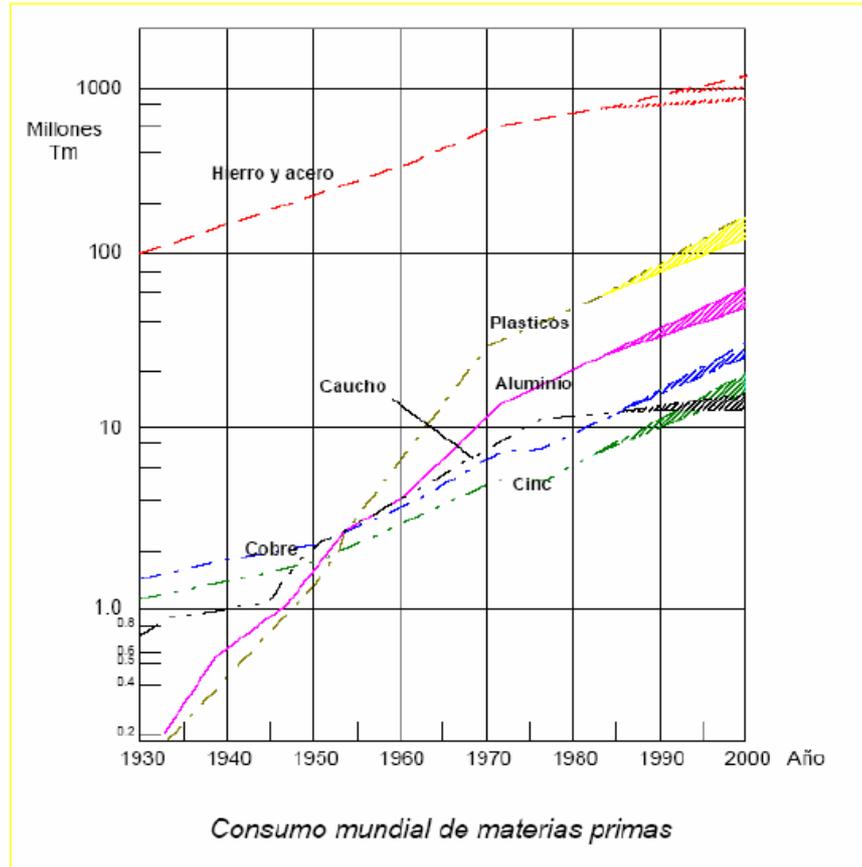
Como ejemplos se pueden citar la Baquelita, Resinas de melanina/formaldehído (MF), Resinas de urea/formaldehído (UF), Resinas de fenol/formaldehído (FF), Resinas epóxicas.

2.2 CONSUMO DE PLÁSTICO

De acuerdo con la Figura 3 , en la que se muestra el consumo de materias primas hasta el año 2000 en el mundo, los plásticos son el segundo material más consumido después del hierro y acero y han tenido una tendencia de crecimiento de consumo mayor en los últimos setenta años con referencia a los otros materiales.

Según el informe presentado por la Fábrica de Anilina y Sosa de Baden (BASF) en la mega feria de plásticos K, celebrada en enero del 2005 en Düsseldorf, la producción mundial de plásticos y de caucho supera el valor de 225 millones de toneladas anuales, de las cuales 180 corresponden a los plásticos en su forma primaria, 20 millones a los cauchos y la diferencia a las resinas de ingeniería, fibras, pinturas, adhesivos, dispersiones y recubrimientos. Como factores primordiales que explican la alta demanda de los plásticos está el crecimiento de la población mundial y su avidez por productos de mayor desempeño en las áreas de bienes de consumo, confort y productos de mayor duración, igualmente el desarrollo tecnológico y la globalización de la economía han sido influyentes [20].

Figura 3. Consumo de materias primas hasta el año 2000.



Fuente: GNAUCK, B. Frundt. *Iniciación a la Química de los Plásticos*, 3ra. Ed. Barcelona: Hanser. 1989.

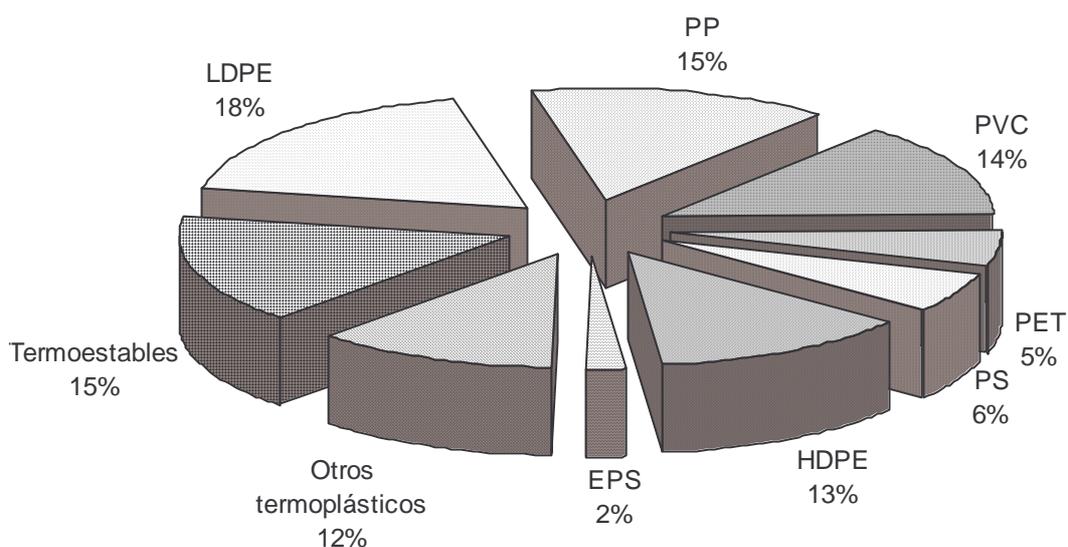
2.2.1 Europa

El seguimiento al consumo de plásticos en Europa es llevada a cabo por la asociación europea de fabricantes de resinas plásticas (PlasticEurope), anteriormente denominada Asociación de Fabricantes de Plásticos de Europa (Association of Plastics Manufacturers in Europe, APME), la cual a su vez recoge datos sobre la generación, el reciclaje y la recuperación de los residuos plásticos.

De acuerdo con la asociación, la industria europea de los plásticos creció a un ritmo del 5.6% anual entre los años 2001 y 2003 [12]. El incremento en la producción anual de productos plásticos llegó a un volumen de 39.7 millones de toneladas en el año 2003 [20]. El consumo per cápita de plásticos en Europa Occidental desde el año de 1991 hasta 2002, se incrementó desde 64 hasta 95 kg/habitante/año, un crecimiento medio del 3 por ciento por año.

Las resinas más consumidas en Europa en el año 2002 fueron las que conforman la familia de las poliolefinas con un 46% del total, de estas, la más consumida fue el polietileno de Baja Densidad, LDPE, con un 18% del total. La distribución de consumo de las resinas plásticas se presenta en la Figura 4.

Figura 4. Consumo de plásticos por resina en Europa Occidental.

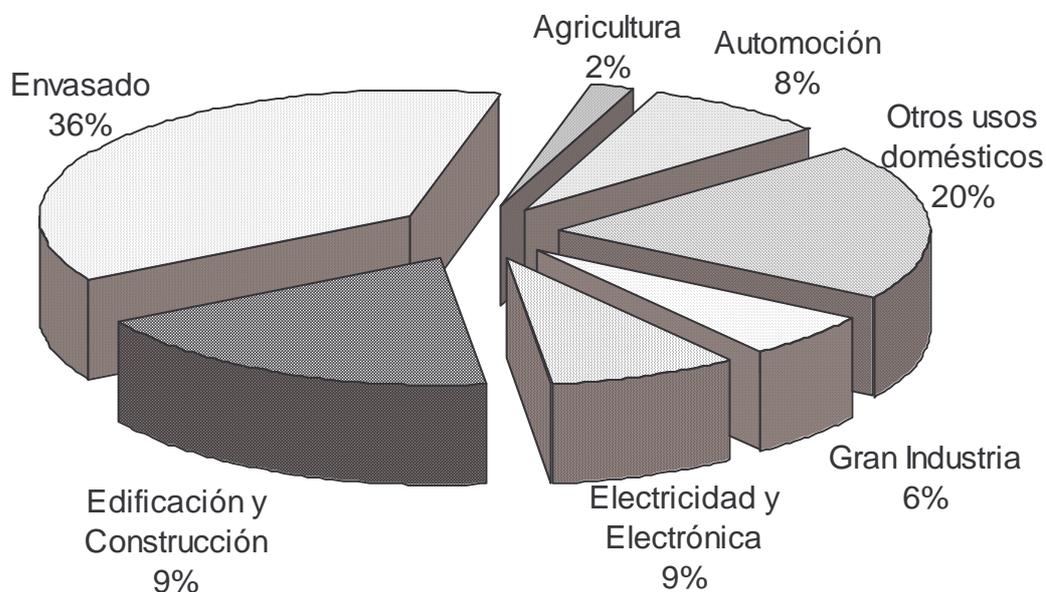


Fuente: ASOCIACIÓN DE CIUDADES Y REGIONES PARA EL RECICLAJE ACRR. Guía de Buenas Prácticas para el Reciclaje de los Residuos Plásticos: Una Guía por y para las Autoridades Locales y Regionales.

En el 2003 el consumo total de plásticos fue de 39.706 millones de Tm, su distribución en los sectores productivos se presentan en la Figura 5, en donde se puede ver que la aplicación principal de los plásticos es en el sector de envases con un consumo del 38.10% de la producción total. Datos anteriores de PlasticEurope sugirieron que alrededor del 73% de los productos plásticos terminan en los hogares mientras que el 27% restante se utiliza como envases de distribución en la industria. Las aplicaciones para el envasado son por lo general de corta vida con la excepción de los elementos que están previstos para ser reutilizados, tales como paletas, jaulas y bidones [6].

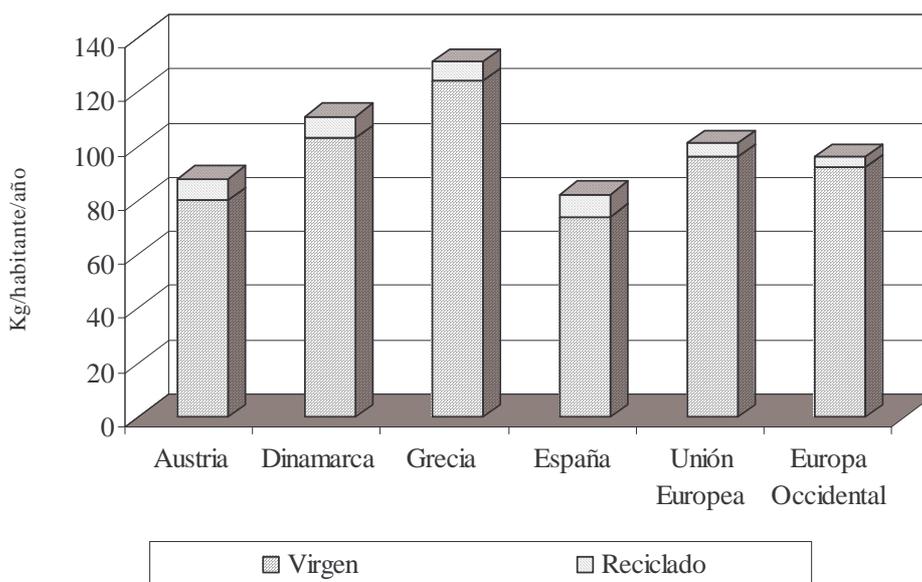
El consumo de plástico reciclado post-consumo en el sector productivo de algunos países se presenta en la Figura 6, la media de utilización de plásticos post-consumo en la producción de la Unión Europea fue de 3.6% en el año 2000.

Figura 5. Consumo de plástico por sectores productivos en Europa Occidental.



Fuente: PLASTICSEUROPE. An analysis of plastics consumption and recovery in Western Europe 2002 & 2003. <http://www.plasticseurope.org/>

Figura 6. Consumo de material reciclado y virgen en Europa Occidental



Fuente: ASOCIACIÓN DE CIUDADES Y REGIONES PARA EL RECICLAJE ACRR. Guía de Buenas Prácticas para el Reciclaje de los Residuos Plásticos: Una Guía por y para las Autoridades Locales y Regionales.

2.2.2 Colombia

En Colombia existe una entidad gremial llamada Asociación Colombiana de Industrias Plásticas, Acoplásticos, que reúne y representa a las empresas de las cadenas productivas químicas, tales como las industrias del plástico, caucho, pinturas y tintas (recubrimientos), fibras, petroquímica y sus relacionadas. Esta entidad realiza publicaciones en las que da a conocer la situación del gremio en Colombia.

En su publicación titulada Plásticos en Colombia 2004-2005, presentan el consumo aparente de las principales resinas plásticas y su distribución según las principales resinas entre los años 2001 y 2003, cuya información se presenta en la Tabla 1, la cual permite ver que el material de mayor consumo en el país fue el Polietileno de Baja Densidad y que los materiales más demandados en el trienio fueron los polietilenos (39%), y los polímeros de propileno (24%). Presentan igualmente el consumo per cápita anual de materias plásticas para Colombia el cual es algo superior a los 14 Kg. por habitante.

Tabla 1. Polímeros de mayor consumo en Colombia entre los años 2001 a 2003 (miles de toneladas).

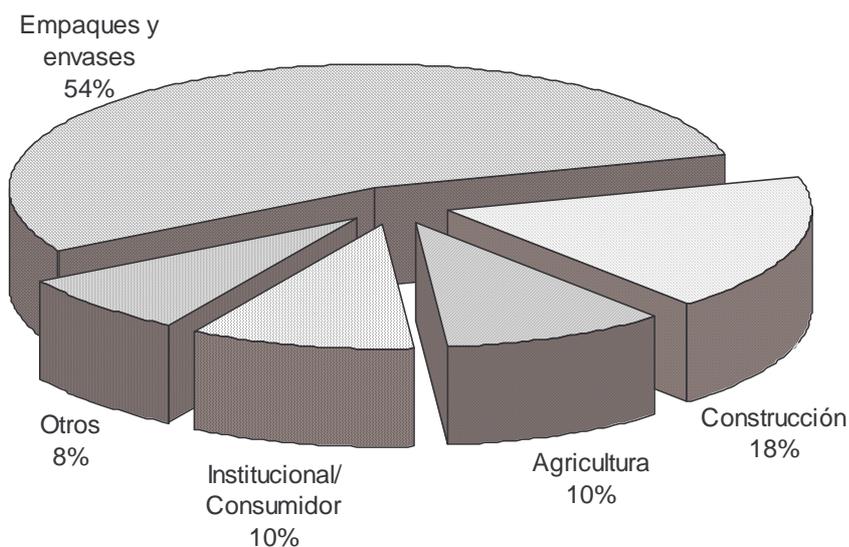
RESINA	2001	2002	2003
Polietileno de baja densidad	140	144	138
Polietileno de alta densidad	78	86	95
Polímeros de propileno	122	145	150
Poliestireno	35	39	45
Policloruro de vinilo	105	130	130
Resinas de PET para envases	18	20	28
Otras resinas	35	37	37
TOTAL	533	601	623

Fuente: ACOPLÁSTICOS. Plásticos en Colombia 2004-2005. XXXIV Ed. Bogotá: Acoplásticos, 2004. pág 70.

Los principales sectores consumidores de materias plásticas en el trienio 2001-2003 se presentan en la Figura 7. En Colombia como en Europa Occidental el sector productivo que más utiliza resinas plásticas es el sector de envases y

empaques con un 54% de la producción total, la representatividad del uso de las resinas plásticas en el sector Agrícola es mayor para Colombia que para Europa.

Figura 7. Consumo de resinas plásticas en Colombia por sectores productivos.



Fuente: Cifras obtenidas de: ACOPLÁSTICOS. Plásticos en Colombia 2004-2005. XXXIV Ed. Bogotá: Acoplásticos, 2004.

Los datos fueron estimados por Acoplásticos con base en información de productores locales de resinas y de manufacturas plásticas y de proveedores de materiales importados y en estadísticas oficiales [1].

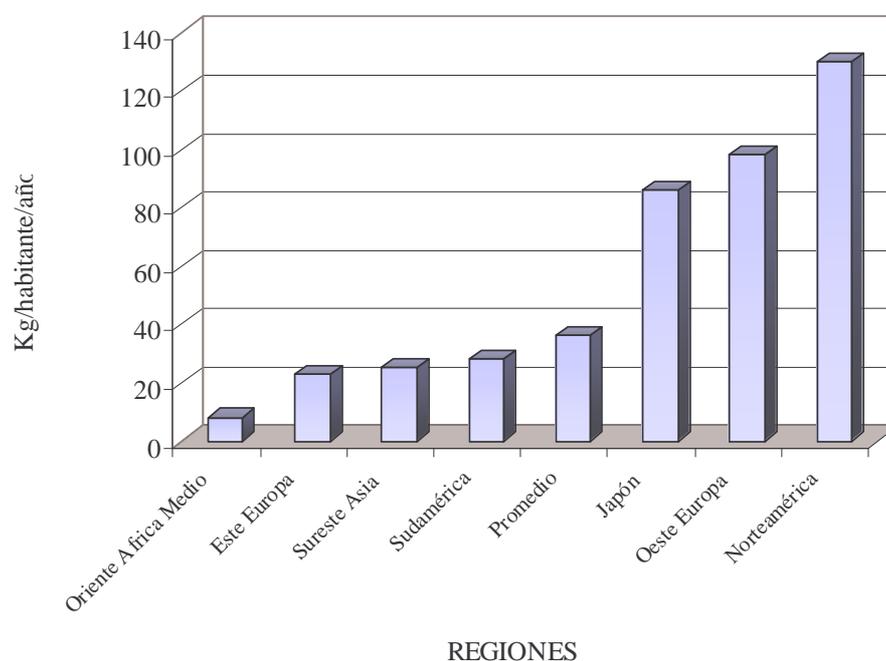
2.2.3 Tendencias

De acuerdo con Ulrich Reifenhäuser, presidente de la empresa fabricante de máquinas de extrusión Reifenhäuser de Alemania, los plásticos serán el material más importante del siglo XXI. Esto debido a la gran variedad de propiedades técnicas que pueden desplegar y a que los beneficios que trae su desempeño superan ampliamente el costo relacionado con su producción [20].

En la Figura 8 se presenta las tendencias del consumo per-cápita proyectado hasta el año 2010, por regiones, las cuales fueron presentadas por la BASF en la mega feria de plásticos K.

Prevén que Europa del Este tendrá el mayor crecimiento porcentual hasta ese año (7% anual), seguido del Sureste Asiático (con el 6,5%) y América Latina (con el 4%). Las regiones más avanzadas tienen un nivel de consumo actual muy superior, pero sus niveles de crecimiento serán menores (entre el 3 y el 3,5% anual). De acuerdo con el estudio de BASF, el crecimiento promedio mundial será del 5,1% anual hasta el año 2010, cuando la demanda llegará a 250 millones de toneladas anuales [20].

Figura 8. Consumo per cápita de plásticos en el mundo, proyectado al año 2010.



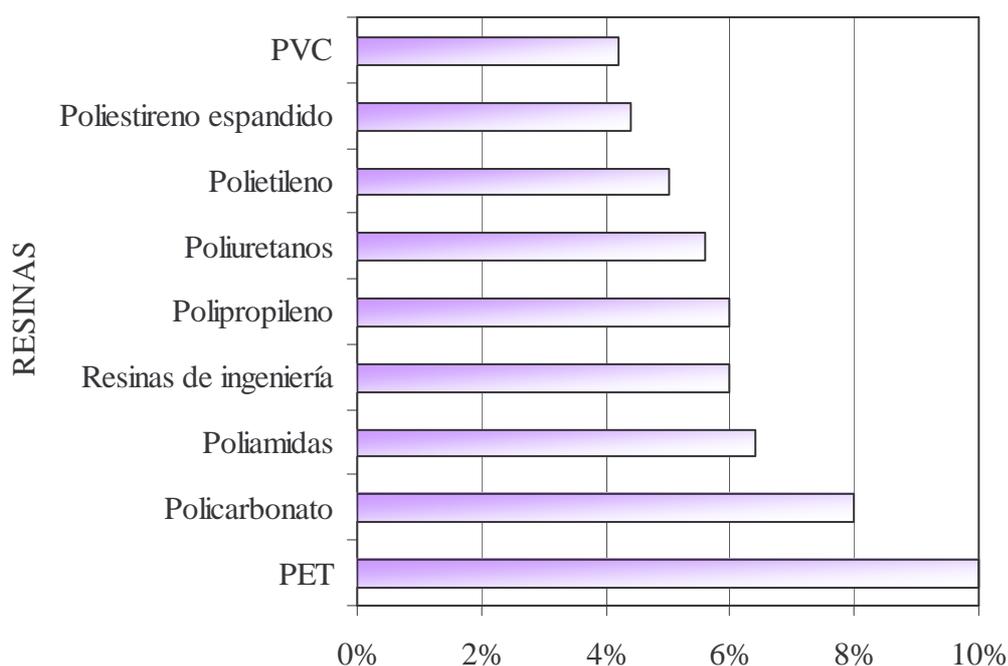
Fuente: SERRANO, Carlos. Tendencias de desarrollo en la industria plástica. En Revista tecnológica del Plástico – versión digital. Septiembre, 2005.

El estudio de BASF predice que el polietileno tendrá un crecimiento anual de producción de 5% hasta 2010, en el mundo. La cifra para el polipropileno es de 6%. El poliestireno expandido crecerá al 4,4%, mientras que el PVC lo hará al 4,2%. Las resinas de ingeniería crecerán a una tasa promedio del 6% anual, las poliamidas lo harán al 6,5%, el policarbonato al 8%, el PET al 10% y los poliuretanos al 5,5%. Lo cual se puede ver en la Figura 9.

En cuanto a la generación de nuevas resinas en el corto plazo, existe un grado de escepticismo debido a que ellas deben cumplir ciclos de desarrollo que hoy en día son considerados demasiado extensos por parte de las compañías de mayor

tamaño; en algunos casos estos ciclos son del orden de 10 años, tales plazos conllevan riesgos que las compañías grandes no están dispuestas a asumir; por lo tanto, los nuevos desarrollos dentro de este tipo de compañías ocurrirán con la intención de refinar y perfeccionar los productos ya existentes [20].

Figura 9. Crecimiento de las diferentes resinas hasta el 2010.



Fuente: SERRANO, Carlos. Tendencias de desarrollo en la industria plástica. En Revista tecnológica del Plástico – versión digital. Septiembre, 2005.

2.3 RECICLAJE

El reciclaje en la Jerarquía de la Gestión Integral de Residuos Sólidos adoptada por la Agencia de Protección Ambiental en Estados Unidos (EPA), es el segundo elemento, después de la reducción en el origen. El reciclaje implica la separación, y la recolección de los materiales residuales, la separación de estos materiales para la reutilización, el reprocesamiento, y nueva fabricación de productos. El reciclaje es un factor importante para ayudar a reducir la demanda de recursos y la cantidad de residuos que requieran la evacuación mediante vertido.

En tercer lugar se encuentra la Transformación de los residuos, la cual implica la alteración física, química o biológica de los residuos. Las que se pueden aplicar a

los residuos sólidos urbanos, son utilizadas para mejorar la eficacia de las operaciones y sistemas de gestión de residuos, para recuperar materiales reutilizables y reciclables y para recuperar productos de conversión por ejemplo compost, energía en forma de calor y biogás combustible. La transformación de los residuos da generalmente mayor duración de la capacidad de los vertederos [21].

De acuerdo con el decreto 1713 del 2002 se define el reciclaje como *“el proceso mediante el cual se aprovechan y transforman los residuos sólidos recuperados y se devuelve a los materiales su potencialidad de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos”* [15].

El Comité de Reciclaje de la Asociación Nacional de Industriales ANDI en el quinto seminario de Envases y Empaques realizado en Cartagena en Abril de 1991, definió el reciclaje como el proceso mediante el cual se recuperan, reelaboran y aprovechan los desechos industriales, comerciales y domésticos convirtiéndolos en materia prima para la fabricación de nuevos productos útiles a la sociedad. Éste proceso incluye los siguientes pasos tales como la separación y recolección de los materiales en la fuente de generación, el transporte hacia los centros de acopio, el proceso de adecuación, tratamiento y beneficio para convertirlos en materias primas, la incorporación de esta materia prima en el procesamiento de nuevos productos.

2.4 RECICLAJE DE LOS RESIDUOS PLASTICOS

La reducción en el origen y la reutilización disminuyen el crecimiento de los residuos plásticos. La recuperación, es la tercera faceta de la gestión de los residuos sólidos.

Las industrias de plásticos llevan décadas aprovechando el material de las piezas defectuosas, los recortes y la chatarra. Su empleo varía desde el reprocesado a pequeña escala en compañías reducidas hasta programas a gran escala para generar miles de toneladas de materiales reprocesados [17].

Los residuos sólidos urbanos (RSU) aparecen como la fuente principal de residuos plásticos, con alrededor de los dos tercios del total generado, el segundo flujo en importancia de residuos plásticos procede de los sectores industriales y de la distribución, este flujo está constituido principalmente por material de envasado y embalaje, por lo general homogéneo y limpio [6].

El reciclaje de los residuos plásticos es una estrategia de gestión del plástico pos consumo, el cual permite reducir la demanda de los recursos naturales y energéticos necesarios para la obtención de materiales poliméricos. Se clasifica en reciclaje primario, reciclaje secundario, reciclaje terciario y reciclaje cuaternario.

2.4.1 Reciclaje Primario

Es un proceso físico mediante el cual el plástico pos consumo o pos industrial es recuperado permitiendo su posterior utilización como materia prima recuperada o producto terminado. Los desechos plásticos son convertidos en artículos con propiedades físicas y químicas idénticas al del material original. Se utiliza con termoplásticos tales como Polietileno Tereftalato (PET), Polietileno de Alta Densidad (PEAD), Polietileno de Baja Densidad (PEBD), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS) y Policloruro de Vinilo (PVC) [2].

2.4.2 Reciclaje Secundario

Convierte al plástico en artículos con propiedades inferiores a las del plástico original. Como ejemplo se tienen los termoestables o plásticos combinados. El proceso es más simple que el primario, se elimina la necesidad de separar y limpiar los plásticos.

El reciclaje secundario consta principalmente de dos operaciones, la Molienda en la que la mezcla de plásticos, incluyendo tapas de aluminio, etiquetas de papel, polvo, etc., se muelen en molinos de discos y la extrusión en la que la mezcla se funde en un extrusor. Se fabrican normalmente, tubos o varillas de diferentes diámetros y longitudes [13].

2.4.3 Reciclaje Terciario

Los plásticos son degradados a compuestos químicos y combustibles. Involucra un cambio químico y no físico, en donde las largas cadenas se rompen en pequeños hidrocarburos (monómeros) o monóxido de carbono e hidrógeno. Supone dos niveles de despolimerización, una de ellas reversible, la cual produce monómeros que se pueden utilizar para obtener nuevos polímeros y una segunda donde los plásticos no se despolimerizan en monómeros inmediatamente útiles [13]. Entre las tecnologías de despolimerización se encuentran:

Pirólisis: Es la ruptura de moléculas por acción del calor en ausencia de oxígeno. Se utiliza calentamiento directo o indirecto sin presencia de oxígeno para que las largas cadenas se rompan en pequeñas moléculas. Se utilizan temperaturas de hasta 800 °C. Presenta como ventajas el no tener necesidad de separar los residuos plásticos y recuperar los mismos en sus materias primas, permitiendo así rehacer los polímeros, estos procesos dan lugar a fracciones de hidrocarburos capaces de ser procesados en refinerías.

Hidrogenación: Mediante tratamiento con hidrógeno y calor, se rompen las cadenas de los plásticos generándose productos similares al de la pirólisis.

Gasificación: Los plásticos son calentados con aire u oxígeno, generándose gas de síntesis consistente en monóxido de carbono e hidrógeno. Se emplean temperaturas mayores a 900°C El principal producto es el gas de síntesis, el cual puede ser utilizado para producir electricidad, metanol o amoniaco.

2.4.4 Reciclaje Cuaternario

Permite realizar una utilización del plástico como combustible, para ello se calienta el plástico con el fin de usar la energía térmica liberada. Presenta como ventajas la reducción del 80 al 90 % del volumen de los desperdicios sólidos, el requerir menor espacio, recuperar metales y permitir el manejo de diferentes cantidades y tipos de residuos; más presenta igualmente desventaja, tales como los tipos de cenizas que producen y las emisiones que emanan del proceso de incineración. Los incineradores generan dos tipos de cenizas, de lecho y volante. La ceniza de lecho es la que proviene del fondo de la cámara de incineración y contiene materiales no combustibles. Los ladrillos, las piedras, el acero, el hierro y el vidrio quedan como cenizas de lecho, junto con los residuos de combustión. La ceniza volante es el material recogido de los gases de la chimenea de humo por el equipo de control de la contaminación, la cual contiene generalmente concentraciones relativamente altas de metales pesados y algunos productos químicos peligrosos. Las emisiones de las incineradoras contienen a menudo distintos niveles de furanos, dioxinas, arsénico, cadmio y cromo, que son materiales muy tóxicos, por lo que existe el temor de sus efectos dañinos para la salud [16].

La mayor parte de los residuos plásticos tienen un elevado poder calorífico (PC), de alrededor de 40 MJ/kg. similar al del petróleo, tal como se puede ver en la Tabla 2. Los plásticos son los contribuyentes más importantes al contenido de energía (poder calorífico) de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

Tabla 2. Poderes caloríficos típicos

Polímeros, Combustible y Residuos Plásticos Mezclados	Poder Calorífico Neto (MJ/Kg)
HDPE/LDPE/PP	45
Petróleo	40
Carbón	25
PVC (amplias diferencias entre el PVC rígido y el flexible)	22
Envases de alimentarios mezclados	45
Envases no alimentarios mezclados	37

Fuente: ASOCIACIÓN DE CIUDADES Y REGIONES PARA EL RECICLAJE ACRR. Guía de Buenas Prácticas para el Reciclaje de los Residuos Plásticos: Una Guía por y para las Autoridades Locales y Regionales.

Sin embargo, los incineradores de residuos sólidos urbanos (RSUI) tienen dos restricciones operativas: el flujo de los materiales y el PC de los residuos. Con el crecimiento de la fracción de residuos plásticos, los incineradores alcanzan más rápidamente sus límites de PC y a veces los operadores tienen que diluir los residuos con materiales de un contenido energético inferior. Las administraciones con incineradores se enfrentan a una alternativa o bien limitar la fracción de alto poder calorífico que va al incinerador (a través de programas de recogida selectiva y de reciclaje) o bien construir un nuevo incinerador. La construcción de un nuevo incinerador provoca por regla general la misma reacción “Nemb” (no en mi barrio) [6].

En la Tabla 3 se presentan de forma general la manera de aplicar los diversos procesos de reciclaje y la variedad de residuo plástico y lo más aconsejable o aplicable a cada residuo.

Tabla 3. Variables en el reciclaje de los residuos plásticos.

↑	Dirección del incremento de los costos de reciclaje debido a los mayores esfuerzos usados en la recolección y separación en los procesos de recuperación	Composición	Reciclaje Mecánico	Reciclaje Químico	Incineración para recuperación de energía
		Un solo tipo de resina plástica	++	+	+
		Plástico mezclado	+	+	++ (Combustible sólido recuperado)
		Plástico mezclado con otros materiales	-	-	++ (Combustible sólido recuperado)
		Basura mezclada con plásticos	-	-	+ Basuras domésticas mezcladas

+ Opción realista

++ Opción preferida

- No aconsejable

Fuente: SERRANO, Carlos. El reciclaje de plásticos en la Unión Europea. En Revista tecnológica del Plástico – versión digital. Noviembre, 2005.

Las aplicaciones de los materiales reciclados por polímeros se presentan en la Tabla 4, entre las aplicaciones más comunes se presentan las estibas, fibras de

cepillos, alfombras, suelas de zapatos y madera plástica y las aplicaciones de los residuos plásticos mezclados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 4. Aplicaciones de los residuos recuperados.

PLÁSTICOS	APLICACIONES DE LOS RESIDUOS RECUPERADOS
<p>Polietileno Tereftalato (PET)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ⊗ Producción de fibras, ya sea en hilos finos para tejidos o en fibras más gruesas para material aislante. ⊗ Tejas, zunchos, escobas, cepillos. ⊗ Materiales para blindaje y como materiales de relleno para chaquetas.
<p>Polietileno de Alta Densidad (PEAD)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ⊗ Lámina para botellas, barriles para recolectar agua y bidones para compostaje. ⊗ Contenedores y tanques. ⊗ Envases soplados para uso de productos no alimentarios, por ejemplo: detergentes, aceites ⊗ Madera plástica o estibas ⊗ Baldes para pintura, minería y cestas para basura ⊗ Contenedores industriales ⊗ Barreras de señalización ⊗ Marcos o perfileras ⊗ Bolsas de colores, dependiendo de la procedencia.
<p>Policloruro de Vinilo (PVC)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ⊗ Tuberías, perfiles o paneles de PVC. ⊗ Las botellas y los residuos de otros productos de PVC de corta vida, como las tarjetas de crédito o el empaque tipo blister, pueden emplearse en la producción de ductos para cables, tuberías para drenaje, accesorios para tubería que no transporten agua potable, baldosas o monofilamentos para escobas y cepillos. ⊗ El PVC procedente de carcasas de computadores y teclados puede utilizarse en segundas aplicaciones idénticas. ⊗ Los cables eléctricos recubiertos pueden ser pelados para quitarles el aislamiento de PVC plastificado, de manera que queden separadas la fracción metal y la de polímero. La fracción de PVC puede reciclarse en revestimientos para pisos industriales, tapetes para automóviles, suelas de zapatos, guardabarros, barreras acústicas y mangueras de jardín
<p>Polietileno de Baja Densidad (PEBD)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ⊗ Bolsas industriales ⊗ Contenedores ⊗ Bolsas de uso general ⊗ Mangueras para riego, dependiendo de la procedencia ⊗ Envases para productos no alimenticios ⊗ Los desechos transparentes de alta calidad encuentran

PLÁSTICOS	APLICACIONES DE LOS RESIDUOS RECUPERADOS
	<p>una aplicación en bolsas para mercado, mientras que el material de calidad inferior se utiliza en bolsas para basura. Los desechos plásticos de empaques para aplicaciones agrícolas se utilizan para fabricar nuevos empaques con uso similar.</p> <ul style="list-style-type: none"> § Barreras acústicas § Perfiles pequeños para muebles, contenedores pequeños y macetas. § Puede utilizarse en productos fabricados a partir de mezclas de plásticos como ocurre en el reciclaje de desperdicios de empaques flexibles.
Polipropileno (PP)	<p>El Polipropileno reciclado puede ser utilizado en varios sectores:</p> <ul style="list-style-type: none"> § Sector agrícola: sistemas de aspersión, válvulas, cajas de recolección, comedores para aves § Sector marítimo: protectores para botes, deflectoras, cabos de amarre § Sector de la construcción: láminas divisorias, reemplazo de triplex, separadores cielorrasos, divisiones oficinas § Sector automotriz: bandejas para baterías, protectores guardabarros § Sector industrial: cajas de recolección de piezas, tapones, rollos para embobinar, textiles, películas, cordeles, cajas de herramientas, plantillas para escobas y cepillos, zunchos, ganchos para colgar ropa, conos par embobinados de hilo e hilazas, baldes y todo tipo de recipientes.
Poliestireno (PS)	<ul style="list-style-type: none"> § Los residuos de poliestireno espumado pueden ser aprovechados para obtener subproductos tales como adhesivos, aprestos, emulsiones, impermeabilizantes y asfaltos modificados. § Los componentes de poliestireno rígido como las tazas de café, pueden reciclarse en aplicaciones como estuches de videocasetes y equipos de oficina. § Los desechos de poliestireno expandido pierden sus características como espumas durante el proceso de recuperación. El material recuperado puede volver a gasificarse, pero el producto resulta más caro que el material virgen. § Ganchos para colgar ropa § Conos y cilindros para embobinado de hilo e hilazas § Rejillas y cielorrasos de uso arquitectónico § Divisiones para baño § Componentes para suelas de zapatos § Componentes para baldosas o pisos sintéticos § Componente para pegante industrial § Componente para baldosas o pisos sintéticos

PLÁSTICOS	APLICACIONES DE LOS RESIDUOS RECUPERADOS
	<ul style="list-style-type: none"> ⊗ Adoquines aglutinados ⊗ Madera plástica para estibas, postes, cercas, estacas ⊗ Mezcla para asfaltos ⊗ Muebles inyectados(sillas, mesas) ⊗ Bidones, baldes para uso industrial ⊗ Materas termoformadas e inyectadas para jardinería ⊗ Semilleros de uso general
<p style="text-align: center;">OTROS</p> Policarbonato (PC), Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), Estireno Acrilonitrilo (SAN), Poliamida (PA), Nylon, Acetales, Plásticos compuestos (co- extrusión, co-inyección, co-laminados), Aleaciones de polímeros	<ul style="list-style-type: none"> ⊗ Autopartes ⊗ Adoquines ⊗ Carcazas para electrodomésticos ⊗ Teléfonos ⊗ Muebles ⊗ Laminadas de aglomerado con aserrín y cartón

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Guías Ambientales sector Plásticos: Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Bogotá, 2004. pág. 74-77.

Tabla 5. Aplicación de residuos plásticos mezclados.

SECTOR DE APLICACIÓN	EJEMPLOS DE APLICACIÓN POR SECTOR
Arquitectura	Cercas, bancas, cajas para plantas y compostaje, muelles, postes o pilotes.
Construcciones agropecuarias	Casetas para porcicultura, estructura de gallineros, cajas y macetas
Transporte	Paredes para aislamiento de ruidos, bases para señalización de tránsito, canales para drenajes, tableros para protección de cables, segmentos de pisos, estibas, carretes par cables.

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Guías Ambientales sector Plásticos: Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Bogotá, 2004. pág. 77.

2.4.5 Reciclaje de plásticos en Europa

El manejo de los desperdicios plásticos en Europa está enmarcado dentro de la legislación concebida por la Unión Europea para la conservación del medio

ambiente. La ley específica que regula el manejo de los desperdicios plásticos es la llamada Directiva de Empaques y Desperdicios de Empaques, adoptada por el Parlamento Europeo en diciembre 14 de 1994. La legislación establece que los desperdicios de los empaques provenientes de la comunidad en general (hogares, instituciones e industrias), deben ser recuperados cumpliendo unas cuotas mínimas en un tiempo determinado. Se debe recuperar un mínimo de 50 a 65% en peso, entendiendo por recuperación reciclaje, compostaje, degradación e incineración con el propósito de recuperar energía; y se debe reciclar un mínimo de 25 a 45% en peso, de todos los materiales de empaque y al menos, 15% de cada tipo de material debe ser reciclado.

Otras Directivas que incorporan aspectos relacionados con los residuos plásticos en la Unión Europea son: Directiva sobre Vehículos Fuera de Uso (2000/53/EC), La Directiva sobre los Residuos de Equipos Eléctricos y Electrónicos (2002/96/EC) y la Directiva sobre Vertederos (99/31/EC).

La Directiva 2000/53/CE sobre Vehículos Fuera de Uso (VFU) no hace referencia directa a una obligación de reciclaje de plásticos. Sin embargo, define un objetivo global de reciclaje y reutilización del 80% para 2006 y del 95% para 2015 del contenido en peso de material plástico en los vehículos.

La Directiva de Residuos de Equipos Eléctricos y Electrónicos, REEE, (2002/96/EC) obligará a los distribuidores a asegurar que dichos residuos puedan ser devueltos cuando menos sin cargo. Diez categorías de REEE son definidas por medio de este instrumento, con unas tasas obligatorias de reutilización y reciclaje que varían entre el 50 y 75% en peso, así como unas tasas de recuperación que van del 70 al 80%.

La Directiva de vertederos de la UE no está dirigida a los plásticos, más establece objetivos para los residuos municipales biodegradables, ya que frente al incremento de los costos de la eliminación final tradicional, el reciclaje en general se irá haciendo cada vez más atractivo desde el punto de vista económico.

De acuerdo con la directiva actual, los países de la comunidad garantizan el establecimiento de sistemas de recolección, retorno, reuso o recuperación de los empaques usados y desperdiciados por los usuarios finales.

Entre los países europeos, Alemania ha tenido el liderazgo en el cumplimiento e implementación de la Directiva de Empaques y Desperdicios de Empaques. Una empresa privada, Duales System Deutschland, DSD, es responsable de la recolección de los desperdicios de empaques (de todo tipo), que son dispensados en forma conveniente al nivel de las comunidades y las industrias. DSD efectúa también la separación de los desperdicios en los diversos tipos de materiales y los entrega clasificados a otras empresas con las cuales tienen establecidos contratos de reciclaje y aprovechamiento de los materiales. La empresa encargada de

reciclar los desperdicios plásticos es la Deutsche Gesellschaft für Kunststoff-Recycling, DKR [6]. Alemania, a través del Sistema Duales y el DKR, recicló el 82% de los empaques plásticos que salieron al mercado en el año 2004. Este porcentaje se traduce en 522.000 toneladas [18].

En 1995 se creó la organización Packaging Recovery Organisation Europe s.p.r.l. (Proeurope), cuya función es otorgar la marca o sello Punto Verde a los empaques fabricados con todo tipo de materiales, para que su recuperación y reciclaje queden garantizados bajos unas normas y regulaciones que son uniformes en todos los países. Una vez recuperados los desperdicios de los empaques, las empresas del Sistema Duales realizan la separación de los materiales y los entregan en forma separada a otras empresas industriales especializadas en el reciclaje de cada tipo de material, dentro de la Unión Europea; de esta manera se cierra el círculo ecológico de uso, desecho, recuperación y reutilización de los materiales de empaque.

De la misma manera en que el Sistema Duales se originó en Alemania, las empresas encargadas de transformar los desperdicios de empaques plásticos tuvieron origen allí. El DKR y doce de estas organizaciones de Bélgica, Finlandia, Gran Bretaña, Italia, Islandia, Noruega, Portugal, España y Suecia, están unidas por la Asociación Europea de Organizaciones de Recuperación y Reciclaje de Plásticos, EPRO. Esta organización es un canal para el intercambio de información y experiencias entre los miembros. También apoya la realización de estudios y proyectos científicos sobre los temas de recolección, separación y recuperación de desperdicios plásticos, e igualmente trabajan en la promoción de desarrollos de nuevos productos derivados del reciclaje, la estandarización de la calidad de los productos y el aumento de la eficiencia de los procesos de reciclaje. Un calificativo usado para este tipo de empresas es el de ser la "garantía nacional" del reciclaje de los materiales plásticos [18].

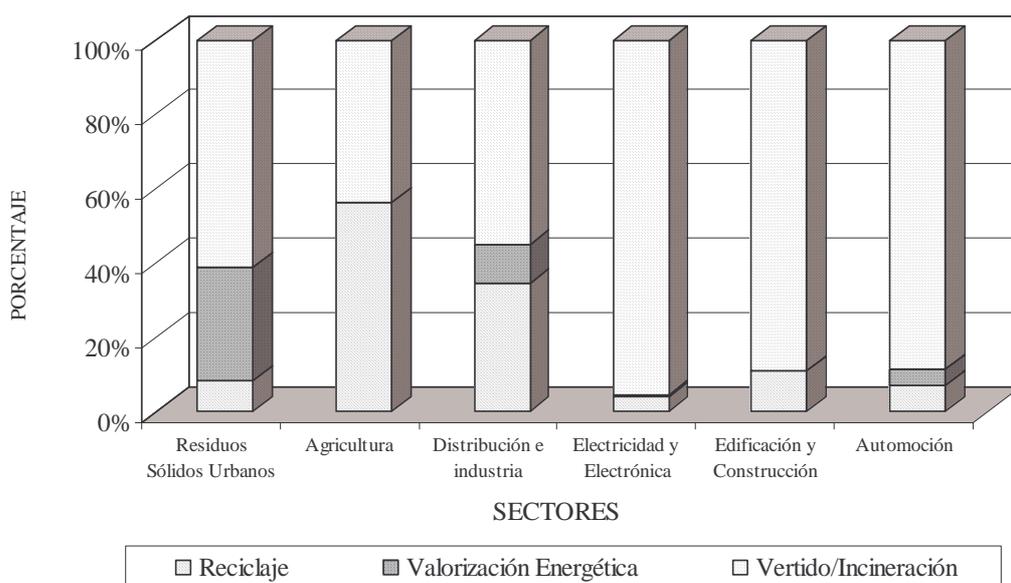
La actividad de los procesos de reciclaje creció a una tasa del 11% anual en el periodo de 2001-2003 y se reportó también que la participación del reciclaje mecánico ha llegado a un valor del 14%, que para algunos analistas se acerca al valor máximo teórico [18].

En el 2003 el porcentaje de recuperación de desperdicios plásticos fue del 39%, considerando todas las aplicaciones. En la industria de empaques, que es el sector que más consume materiales plásticos, la recuperación de este tipo de desperdicios se incrementó desde 49.4% en el 2001 a más del 53% en el 2003. Este aumento se debió al avance del reciclaje mecánico principalmente. Se cree, de acuerdo con PlasticsEurope, que la efectividad en el manejo de los desperdicios de empaques plásticos ha sido la medida que ha ofrecido el mayor beneficio ambiental y que por ello se ha logrado detener el crecimiento del porcentaje de materiales plásticos enviados a los rellenos sanitarios.

En agosto del 2005 entró en vigencia la última actualización de la Directiva de Empaques, la cual exige prácticamente duplicar las metas de reciclaje y fortalecer la de recuperación de los desperdicios. Muchos de los países que van a la vanguardia en el reciclaje de desperdicios ya cumplen las metas del año 2008 y están buscando alcanzar metas más altas que las exigidas por la ley, entre ellos Alemania y Bélgica. Los países que están relativamente atrasados son, por ejemplo, Gran Bretaña y nuevos miembros de la Unión Europea, como Grecia e Irlanda [18].

La distribución de los tratamientos empleados para los residuos plásticos por sectores productivos de Europa Occidental se presenta en la Figura 10, entre los tratamientos más utilizados se encuentran el Vertido y la incineración. El reciclaje es más utilizado en el sector de agricultura por la homogeneidad de los residuos plásticos y en los sectores de Distribución e Industria.

Figura 10. Tratamiento de los residuos plásticos por sectores en Europa.



Fuente: PLASTICSEUROPE. An analysis of plastics consumption and recovery in Western Europe 2002 & 2003. <http://www.plasticseurope.org/>

2.4.6 Estados Unidos

En 1960, los residuos plásticos no formaban parte de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en Estados Unidos, mientras que en la actualidad representan el 9,9 por ciento. Durante este mismo período, la generación total de RSU creció desde 88 millones de toneladas por año (Mtpa), 491 kg/habitante/año, hasta 217

Mtpa, 775 g/habitante/año, mientras el componente de plásticos se incrementó desde 0,4 Mtpa (2,2 kg/habitante/año) a 21 Mtpa (76 kg/habitante/año). En 40 años, el peso total de los residuos plásticos se multiplicó por 55 y la generación de residuos plásticos per cápita se multiplicó por 35 [6].

En 1976 el gobierno federal de los Estados Unidos aprobó la ley sobre conservación de recursos y recuperación (RCRA), en la que se promovía la reutilización, reducción, incineración y reciclado de materiales.

En estados Unidos no hay una ley de ámbito nacional, sino que las leyes sobre el manejo y disposición de los residuos plásticos se reglamentan en cada estado. Existen regulaciones estatales sobre el valor de depósito por botellas, sobre el contenido reciclado de botellas en las cuales se especifica normalmente el porcentaje de contenido reciclado pos-consumidor (PCR) en varios tipos de contenedores [16].

La Agencia de Protección Ambiental de este país (EPA), ha decidido permitir que el reciclaje de los materiales plásticos esté determinado por las fuerzas del mercado, sin otorgar subsidios. Más de 4.400 comunidades han establecido tarifas de recolección variables para cubrir el servicio de recolección de basuras. Bajo el programa de tarifas variables, el usuario paga en la medida en que descarta desperdicios es decir, paga más si coloca más unidades de desperdicios para recolección.

Desde 1960 la EPA comenzó a medir el porcentaje global de materiales reciclados sobre la cantidad recolectada de desperdicios municipales. Desde ese año, se detectó por primera vez una disminución en la generación de desperdicios municipales en 1995, cuando disminuyó de 209.5 millones de toneladas en 1994 a 208 en 1995. En este mismo período, el reciclaje de desperdicios sólidos aumentó de 25 a 27%.

En Estados Unidos, 19.24 millones de toneladas de plástico posconsumo van a parar a los basureros. Este peso representa 9.3% del total de desperdicios recogidos, pero en volumen es 24%. El reciclaje mecánico de plásticos en este país es de 4.5% del total que se descarta como usado. Se proyecta que la corriente de empaques crecerá hasta llegar a 38% en el 2010 y que la tasa global de reciclaje aumentará a 40% en el 2010 [19].

2.4.7 Reciclaje de Plásticos en Colombia

En 1985, se estructuró en Colombia el Comité de Reciclaje de Envases y Empaques, cuyo objetivo central es el de realizar una acción concertada entre las diferentes industrias de envase y empaques reciclables, con el fin de promover en el país el reciclaje de los mismos.

Desde 1997 En Colombia se han tomado medidas para reglamentar el aprovechamiento y valorización de los residuos, tales como la Política de Manejo Integral de los Residuos Sólidos, el Decreto 1713 de 2002, la Resolución 1045 de 2003 y una serie de disposiciones a nivel legal que impulsan la separación en la fuente de los diferentes tipos de residuos sólidos domiciliarios, la recolección selectiva de los residuos, la existencia de centros de acopio y fomento de las actividades propias de la recuperación de los residuos como el reciclaje y el compostaje [8].

En Colombia la Acoplásticos suscribió con el Ministerio de Medio Ambiente y Vivienda, el Convenio Especial de Cooperación Científica y Tecnológica N° 035, con el objetivo de elaborar dos guías ambientales relacionadas con el proceso de transformación de las materias plásticas y el manejo racional, aprovechamiento y disposición de los residuos plásticos, principalmente de pos-consumo. Con la guía de aprovechamiento y disposición de los residuos plásticos se busca orientar la actividad de todos los actores que intervienen en la gestión de estos residuos y aportar a su vez a la consolidación de una estrategia para el aprovechamiento y valoración de los residuos y al fortalecimiento de las cadenas de reciclaje.

La guía presenta un marco general de la industria del plástico en Colombia, la situación ambiental del sector y la legislación nacional vigente, informa sobre los principales procesos de transformación de la industria plástica y sobre el manejo y disposición de los residuos plásticos, especialmente pos-consumo, igualmente presenta una descripción general de las mejores prácticas y tecnologías disponibles para los procesos, e identifica los impactos ambientales potenciales asociados y las prácticas de manejo que deberían adoptarse para minimizar los efectos sobre el ambiente y la salud.

Colombia tuvo entre 1999-2000 un consumo de plásticos aproximado de 530000 toneladas/año y el volumen de residuos plásticos urbanos para este mismo periodo estimado por ACOPLASTICOS fue de 220.000 a 280.000 toneladas/año [8].

En Colombia la tecnología más utilizada para el aprovechamiento de los residuos plásticos es el reciclaje mecánico, aunque en una proporción no muy significativa se está dando experiencias en el reciclaje químico y se está evaluando la incineración como recuperación de energía para el manejo de algunos empaques y envases plásticos contaminados con agroquímicos [8].

Acoplásticos ha adelantado una serie de acciones para promover la incorporación de la variable ambiental en las actividades de las empresas del sector de plásticos tales como la utilización del sistema de codificación de envases y empaques, ha publicado en tres oportunidades el Directorio Colombiano de Reciclaje de los Residuos Plásticos aprovechables; elaboró el manual del Reciclador de Residuos Plásticos, el cual facilita la capacitación de los diferentes actores que intervienen

en la cadena del reciclaje de los plásticos; y permanentemente realiza campañas educativas con el objeto de dar a conocer a los diferentes estamentos de la sociedad las virtudes de los materiales plásticos y las ventajas del aprovechamiento de los residuos pos-consumo y pos-industrial.

Tabla 6. Número de empresas comercializadoras y recicladoras por tipo de polímero

Material	Comercializadoras	Recicladoras
PET	57	23
PEAD	57	41
PVC	55	29
PEBD	82	56
PP	58	38
PS	44	25
OTROS		
PC	15	16
ABS	10	11
NYLON	11	14
ACETATO	6	7
ACRÍLICO	12	8

Fuente de Datos: ACOPLÁSTICOS. Directorio Colombiano de Reciclaje de Residuos Plásticos 2002-2003. 3 Ed. Bogotá: Ágora. 94p.

En Colombia existen empresas que recolectan, compran, seleccionan, clasifican, empaacan, transportan o comercializan y reciclan los residuos plásticos, en la Tabla 6 se presenta el número empresas por tipo de polímero.

Estas empresas trabajan con residuos plásticos de diversas fuentes, de 92 empresas que trabajaban en la recolección o compra, selección, clasificación, comercialización o transformación de los residuos plásticos en el 2003, 13 de ellas procesaban exclusivamente residuos pos industriales, 38 exclusivamente residuos pos consumo y 3 de ellas exportaban residuos plásticos, aunque no era su única fuente, las restantes se proveen de fuentes varias de residuos plásticos. Todas estas empresas trabajan un variado grupo de plásticos, predominando las empresas que trabajan con termoplásticos. De estas, 41 realizan recolección, 60 compran el plástico pos consumo o pos industrial, 73 realizan selección de los polímeros, de las cuales dos seleccionan exclusivamente PET, 15 PEBD, seis realizan selección de Polietileno tanto de Alta Densidad como de Baja Densidad. Los procesos restantes que realizan la mayoría de ellas son empaque, transporte y comercialización, mientras que otras realizan la transformación en sus respectivas plantas.

Las empresas que adquieren los residuos plásticos seleccionados y clasificados y que prestan el servicio de reciclaje a terceros o que comercializan la materia prima recuperada o productos terminados son 65, el material más comercializado es el Polietileno, de este número de empresas, 56 trabajan con Polietileno de Baja Densidad y 41 con Polietileno de Alta Densidad.

La distribución geográfica de estas empresas se presenta en la Tabla 7, en donde se ve el fuerte predominio de las fábricas recuperadoras, recicladoras y transformadoras en la ciudad de Bogotá.

Tabla 7. Número de Empresas por ciudades.

Ciudad	Comercializadoras	Recicladoras	Transformadoras
Bogotá	66	47	27
Manizales	5	2	
Medellín	2	2	1
Cali	2	2	2
Barranquilla	2	1	
Santa Marta	2		
Rionegro	1	2	
Itagüí	1	1	1
Otras ciudades	1(14)*	1 (8)*	

Fuente de datos: ACOPLÁSTICOS. Directorio Colombiano de Reciclaje de Residuos Plásticos 2002-2003. 3 Ed. Bogotá: Ágora.

2.4.8 Popayán

En el año 2003, la Oficina de Aseo de la Alcaldía Municipal realizó la caracterización física de los residuos sólidos de la ciudad, denominado Proyecto Piloto de Reciclaje en la ciudad de Popayán, este proyecto fue desarrollado por el Consorcio Temporal Inés Fernanda Caicedo-PH Consultores. El principal objetivo fue establecer la composición física de los residuos sólidos de la ciudad tanto por comuna como por estrato para realizar el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

El material plástico, fue definido como un “*Subproducto de los hidrocarburos dúctil, blando y fácil de moldear. Ejemplo de este material son las bolsas y recipientes*”

* El número entre paréntesis indica el número de ciudades que tiene una sola planta o fábrica.

plásticos”, al Plástico Inyección: “recipientes realizados por medio de un equipo de inyección de plástico fundido como los tarros que contienen detergentes y desinfectantes. Generalmente esos recipientes vienen en colores y son fácilmente comercializables” y al Plástico Soplado como “envases de película fina y envoltorios; otros materiales de lámina” [7].

En el informe correspondiente se presenta la composición promedio de los residuos sólidos de Popayán, la cual se expone en la Tabla 8, donde se puede ver que el material que constituye más del 50% de los residuos son los orgánicos y el plástico el 7.85% en peso.

Tabla 8. Composición física de los residuos sólidos de Popayán.

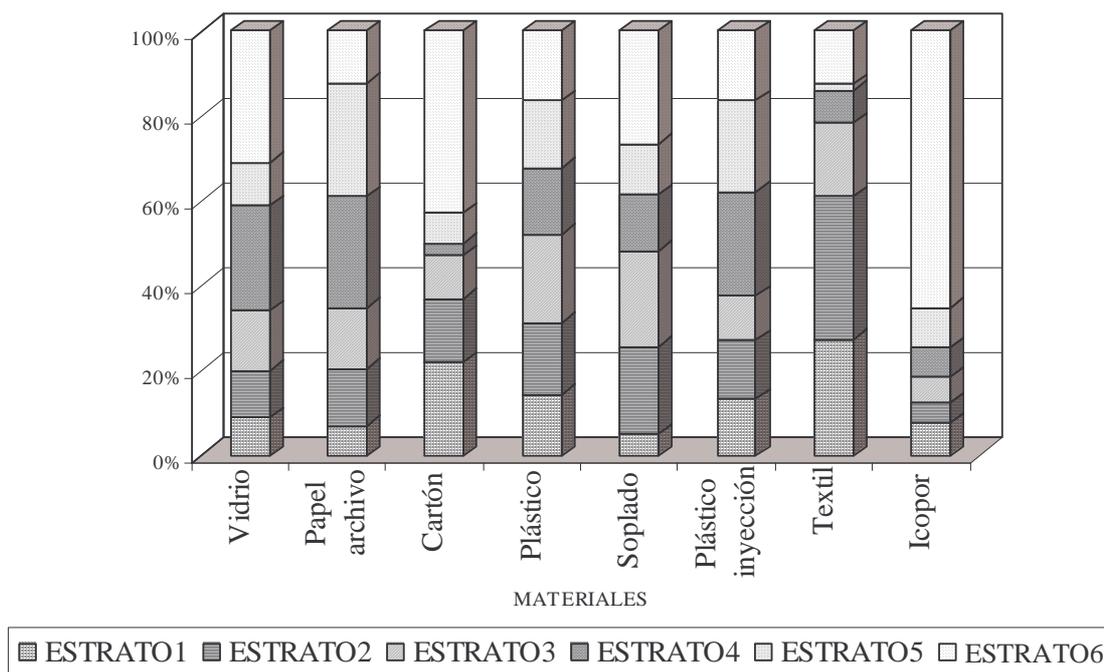
MATERIAL	%PESO
Vidrio	2.52
Papel archivo	1.60
Papel sucio	10.18
Cartón	1.06
Plástico	7.85
Soplado	0.61
Plástico inyección	0.66
Pasta	0.66
Plegadiza	2.11
Textil	1.35
Madera	0.70
Caucho	0.39
Cuero	0.25
Aluminio	0.87
Tierra	0.22
Residuos de Jardín	1.69
Latas	0.15
Icopor	0.69
Material orgánico	66.18
Otros	0.31
TOTAL	100

Fuente: CONSORCIO TEMPORAL INÉS FERNANDA CAICEDO-PH. Caracterización física de los residuos sólidos de la ciudad de Popayán. 2003. p 52.

La Composición de los residuos por estrato se presenta en la Figura 11, en la que se puede ver que el aporte de residuos plásticos es muy homogénea entre los diferentes estratos, que el mayor aporte de plástico soplado es realizado por el

estrato 6 y que los mayores aportes de plástico de inyección es realizado por los estratos 4 y 5.

Figura 11. Distribución de algunos de los residuos sólidos en la ciudad de Popayán por estratos.



Fuente de datos: CONSORCIO TEMPORAL INÉS FERNANDA CAICEDO-PH. Caracterización física de los residuos sólidos de la ciudad de Popayán. 2003. p28.

En lo referente a la producción por comunas, establecen que residuos plásticos de tipo soplado y de inyección son generados en mayor magnitud por las comunas 1 y 4 con un promedio de 1.0% del total. El resto de comunas muestreadas arrojan un promedio de 0.5% aproximadamente. En las proyecciones de generación de residuos, consideraron que la producción de plástico pos consumo tiene una tendencia moderadamente estable en el tiempo.

Como conclusiones del trabajo obtuvieron que los estratos socioeconómicos N° 3, 4, 5 y 6 producen la mayor cantidad de material recuperable en Popayán (papel, vidrio, plástico y cartón), por lo cual recomendaron trabajar el proyecto piloto de reciclaje en estas zonas, que en términos generales abarcan la parte norte de la ciudad, las comunas 1,2,3 y 4 fueron consideradas como el grupo objetivo para el

proyecto de reciclaje pues la generación de material recuperable en estas es mayor en comparación con la del resto de la ciudad [7].

Las proyecciones de las cantidades de material reciclable en la ciudad en lo referente al material plástico para el periodo 2003 - 2023 se presentan en la Tabla 9. Igualmente se establecieron las áreas necesarias para el almacenamiento y proceso de materiales reciclables para diferentes proyecciones anuales, que se presenta en la Tabla 10.

Tabla 9. Proyección del material plástico reciclable en Popayán 2003-2023.

Año	Ton/Mes de Material Reciclable en la Ciudad		
	Plástico	Soplado	Plástico Inyección
2003	85.08	6.66	7.21
2008	96.96	7.59	8.21
2013	109.35	8.56	9.26
2018	123.32	9.65	10.45
2023	139.08	10.88	11.78

Fuente: CONSORCIO TEMPORAL INÉS FERNANDA CAICEDO-PH. Caracterización física de los residuos sólidos de la ciudad de Popayán. 2003. p 53.

Tabla 10. Áreas requeridas para el almacenamiento y proceso de los Residuos Sólidos (m²).

Material	Altura (m)	Año				
		2003	2008	2013	2018	2023
Vidrio	5	30.4	34.6	39.0	44.0	49.66
Papel archivo	4	43.4	49.5	55.8	62.9	71.0
Cartón	5	20.8	23.7	26.8	30.2	34.0
Plástico	4	63.8	72.7	82.0	92.5	104.3
Plegadiza	5	61.1	69.6	78.5	88.5	99.8
Aluminio	3	15.7	17.9	20.1	22.7	25.6
Latas	3	5.3	6.1	6.8	7.7	8.7
<i>Total(m²)</i>		<i>240.5</i>	<i>274.1</i>	<i>309.1</i>	<i>348.6</i>	<i>393.1</i>

Fuente: CONSORCIO TEMPORAL INÉS FERNANDA CAICEDO-PH. Caracterización física de los residuos sólidos de la ciudad de Popayán. 2003.

2.5 CONCLUSIÓN

De acuerdo a la información presentada sobre el consumo de plásticos en Europa y Colombia la resina más consumida es el Polietileno de Baja Densidad y la aplicación en la cual se tiene la mayor demanda de resinas es la de envases.

El reciclaje de los residuos plásticos está limitado, entre otros factores, por la estructura interna de los polímeros. Los termoplásticos por la disposición filiforme de sus moléculas y la debilidad de sus enlaces permiten ser reprocesados mediante la aplicación de calor y/o presión; mientras que los termoestables por la orientación en todas las direcciones de sus moléculas y por los numerosos enlaces entre ellas no permiten ser reprocesados térmicamente.

En los últimos años el reciclaje de los residuos plásticos pos consumo se ha implementado en cumplimiento a la legislación vigente y las ventajas tanto económica como ambientales que este trae, pues permite la obtención de materia prima de menor costo y reduce las cantidades de residuos a ser dispuestos en los rellenos sanitarios, ya que los residuos plásticos son materiales muy voluminosos.

El reciclaje mecánico es el más exigente en cuanto a homogeneidad y estado de los residuos plásticos, mientras que los otros tipos de reciclaje no plantean grandes requerimientos de calidad o estado de los residuos para su desarrollo.

3 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS

3.1 INTRODUCCIÓN

La caracterización de los residuos plásticos se desarrolló durante once semanas en la bodega de reciclaje de la ciudad de Popayán. Los residuos plásticos eran separados de los demás residuos aprovechables recogidos en la ruta de reciclaje por los empleados de la planta y seguidamente eran dispuestos en el sitio de almacenamiento temporal para su posterior caracterización.

La selección de los residuos plásticos en función de su materia prima o resina, se realizó de forma manual y mediante el sistema de codificación de la Industrias Plásticas de Estados Unidos SPI.

Las cantidades presentadas corresponden exclusivamente al material que se encontraba y que llegaba en buen estado a la bodega, el pesaje del material que se presentaba en malas condiciones o mal estado se omitió, ya que se buscaba establecer las cantidades de material susceptibles a tratamiento o recuperación, pues las causas o variables que determinan la presentación de los materiales es un propósito o preocupación del área de orientación y promulgación de la campaña de reciclaje que orienta la alcaldía hacia la comunidad.

3.2 METODOLOGÍA DE LA CARACTERIZACIÓN

3.2.1 Duración.

La separación de los residuos plásticos se desarrolló del 11 de enero al 4 de abril del 2005 en la bodega de reciclaje de la alcaldía de Popayán ubicada en el relleno sanitario el Ojito, en un tiempo equivalente a once semanas. Durante las dos primeras se realizó la separación de los residuos que habían sido almacenados desde el mes de junio del 2004 aproximadamente y en las siguientes siete semanas se realizó la separación de los residuos plásticos una vez a la semana, ya que las cantidades de plástico diario no eran significativas, además que presentaban alta variedad y que el peso de los residuos plásticos para cada una de las categorías establecidas como parámetro de separación eran bajos y no representativos frente a la capacidad de la balanza empleada, la cual tenía una capacidad mínima de un kilogramo.

3.2.2 Capacitación.

El personal de la planta de reciclaje responsable de la separación de los residuos aprovechables recogidos por la ruta de reciclaje recibieron una capacitación con la finalidad familiarizarse con la separación y caracterización de los materiales plásticos.

El taller de capacitación se realizó en una única jornada, desarrollada el día 8 de noviembre de 2004, durante su desarrollo se contó con la participación del personal administrativo del manejo de residuos sólidos vinculados a la Alcaldía Municipal de Popayán y personal de la planta de reciclaje.

La capacitación se desarrolló en dos partes: una introductoria en la que se conceptualizó sobre los materiales plásticos, sus características, usos y clasificación; y la segunda donde se presentó el sistema internacional de codificación para envases, empaques, recipientes y manufacturas plásticas en general, desarrollado por The Society of the Plastics Industry (SPI) de los Estados Unidos, que facilita la separación manual de los residuos plásticos. Igualmente como parámetro de separación de los plásticos se presentaron algunas características físicas de los mismos, ya que algunos productos plásticos no presentan la codificación que permite su fácil selección.

Se desarrolló una contextualización de la codificación y características físicas de los residuos plásticos mediante la presentación de algunos envases o presentaciones de los plásticos que llegan comúnmente a la bodega.

El material utilizado para el desarrollo de la capacitación se presenta en el Apéndice A.

3.2.3 Proceso de selección e identificación de los residuos plásticos.

El proceso de selección se desarrolló de forma manual mediante la utilización del sistema de codificación SPI, que se presenta en la Tabla 11, la cual determina o especifica siete categorías de resinas plásticas. La utilización de este sistema de codificación en la bodega se limitó a la presentación o existencia del código en los envases e implementos plásticos, por lo cual fue necesario hacer a su vez uso de las características físicas de los materiales, realizando así una separación mediante observación y de tacto de las superficie de los implementos plásticos, para separar los materiales en función de su opacidad, transparencia, color, y superficie, a la vez que fue útil realizar separación de acuerdo con la presentación y/o figura habitual de ciertos residuos plásticos. Un resumen de las características físicas, principalmente ópticas y de superficie de los polímeros se presenta en la Tabla 12. Las propiedades generales, propiedades fisiológicas y aplicaciones más comunes en envases y empaques, electrotecnia, construcción, mecánica fina, electrónica, maquinaria, transporte y otras se presentan en el Apéndice C .

Tabla 11. Sistema de Codificación de la Sociedad de Industrias de Plásticos (SPI) de Estados Unidos

Nombre	Sigla		Sistema de Codificación
	Icontec	(Usa)	
Polietileno Tereftalato	PET	PETE	 PET
Polietileno de Alta Densidad	PEAD	PEHD	 PEAD
Policloruro de Vinilo	PVC	V	 PVC
Polietileno de Baja Densidad	PEBD	LDPE	 PEBD
Polipropileno	PP	PP	 PP
Poliestireno	PS	PS	 PS
Otros	Otros	Others	 Otros

Fuente: ACOPLÁSTICOS. Directorio Colombiano de Reciclaje de Residuos Plásticos 2002-2003. 3 Ed. Bogotá: Ágora.

Tabla 12. Características ópticas de algunos polímeros.

Polímero	Características Físicas (Ópticas)
Polietilentereftalato (PET)	Transparente, brillante, las botellas tienen en la base un punto
Polietileno de Alta Densidad	Los envases son generalmente de color lechoso al igual que las bolsas, las cuales son también delgadas y suenan al manipularlas.
Policloruro de Vinilo	Las botellas tienen en la base una costura con forma de sonrisa, al compactarlas aparece una vena blanca.
Polietileno de Baja Densidad	Las bolsas son elásticas y resistentes, los envases y empaques son blandos y medianamente transparentes
Polipropileno	Las películas son transparentes y brillantes. Los envases pueden ser ligeramente transparentes u opacos.
Poliestireno	Es quebradizo por su alta rigidez.

Fuente: ACOPLÁSTICOS. Manual del Reciclador de Residuos Plásticos. 1a. Ed. Bogotá: Ágora, 1999.

En la selección de los residuos plásticos, las consideraciones por las que más se rechazó material fueron mal olor de los envases por la descomposición de su contenido, contaminación por pintura, envases de insecticidas y los recipientes de aceites de motos y automóviles por los posibles inconvenientes que pueden generar sobre el producto tal como el rechazo por olor desagradable; sin embargo a los recipientes de aceites de motos y automóviles sí se les realizó un pesaje y caracterización principalmente por cuatro razones que fueron el buen estado que presentaban, su cantidad, la posibilidad de viabilizar su utilización mediante un buen lavado y porque el tipo de transformación de los residuos plásticos aun no estaba determinada y puesto que ciertos usos no tiene altas exigencias de calidad y presentación por lo cual se prefirió no descartarlos en ese momento.

El rechazo de los residuos plásticos por la suciedad producida por alimentos, se dió por la posibilidad de que los objetos y artículos fabricados a base de plástico reciclable pueden llegar a tener un olor desagradable e inaceptable [10]. Bajo este criterio se decidió que todo envase cuyo contenido no hubiese sido retirado mediante un previo lavado en las fuentes de generación y que en el momento de llegar a la bodega presentara mal olor se rechazaría para proceder finalmente a disponerlo en el relleno.

La caracterización de todo el material plástico que llegó a la planta no fue posible de realizarse, puesto que mucho de este presentaba características de varios

polímeros a la vez o su tamaño no facilitaba o viabilizaba su separación, por lo que se hizo necesario establecer otra categoría a la que se denominó *Materiales plásticos no caracterizados*, conformado por las tapas, las bolsas y material no separado.

Las tapas no se caracterizaron porque muchas de ellas están conformadas a partir de varios polímeros o materiales, tales como papel y cartón o tiene cuerpo en PEAD y cubierta en PEBD y porque su separación se dificulta tanto por el tamaño como por la variedad de color.

Los residuos plásticos de tipo flexible o bolsas no se clasificaron en función de la resina que las conformaban, esto principalmente porque la cantidad, variedad y peso de las bolsa dificultaba esta operación; y porque los polímeros con los que generalmente se procesan pertenecen al grupo de las poliolefinas, que es una familia conformada por el Polietileno de Alta Densidad, Polietileno de Baja Densidad y Polipropileno entre otros, los cuales presentan características similares y cuyo tratamiento conjunto es viable. Igualmente muchas de ellas son producto de reciclaje y por lo tanto muchas de sus propiedades mecánicas, tales como: elongación, tenacidad y resistencia pueden estar reducidas frente a las de un material cuya materia prima sea virgen.

La categoría de “Material no separado” se creó por la necesidad de incluir todos aquellos artículos plásticos cuya separación era difícil debido principalmente a que muchos de ellos presentaban características físicas de varios polímeros y que al no estar codificados, ni estar seguros de su clasificación en función de características ópticas se consideró apropiado no ubicarlos dentro del material de los diferentes polímeros encontrados en la planta, por precaución para el proceso, pues una mala separación podría generar problemas en el procesamiento por la incompatibilidad entre los polímeros de establecerse una línea de proceso para cada tipo de polímero.

La disposición temporal del material para el pesaje se realizó en costales, de los cuales se consideró que su peso no era significativo y que por tanto no había necesidad de realizar correcciones respecto al peso de las costales con material o residuos plásticos en relación a los costales vacíos. La capacidad de cada costal empleado es comercialmente de 50 kg., más en el pesaje de los residuos plásticos osciló entre los dos y tres kilogramos más o menos esto como función de la forma, volumen y tamaño de los mismos.

3.2.4 Registro.

El registro de los datos concerniente a los residuos plásticos caracterizados se realizó en una tabla, la cual se presenta en el apéndice B, y cuyas principales variables fueron tipo de polímero, etiqueta, color y cantidad; estas se determinaron en función de las siguientes necesidades:

Tipo de Polímero: establecer los tipos de resinas o polímeros que llegan a la bodega y que por ende darán una idea de las resinas plásticas más consumidas, desechadas y separados por las familias que participan en el proyecto de reciclaje mediante la separación y presentación de sus residuos a la ruta de reciclaje.

Codificación: es un parámetro importante en la medida que orienta o da seguridad en el proceso, pues una alta codificación en la cantidad de material susceptible de procesamiento mecánico disminuye los riesgos de incompatibilidad entre los polímeros si se piensa en un tratamiento individual de los polímeros.

Color: establecer la homogeneidad o variedad en cuanto a la coloración de los residuos plásticos, lo cual durante el diseño del proceso de los mismos es muy importante para determinar la necesidad, cantidad y tipo de colorante a utilizar.

Etiqueta: establecer en que momento se hace necesario o es conveniente retirar las etiquetas, pues de ser principalmente de tipo papel, podrían ser retiradas durante el periodo de lavado, mas si son plásticas sería conveniente realizarlo antes del lavado, pensando en la posible recuperación de las mismas mediante proceso de aglutinación para someter posteriormente a algún tratamiento mecánico, ya que en su mayoría las etiquetas son fabricadas a base del material plástico de polipropileno el cual es susceptible de recuperación.

Cantidad: establecer los tipos de polímeros de mayor representatividad dentro de los residuos plásticos, que darían viabilidad a un tratamiento de tipo selectivo en cuanto a tipo de resinas se refiere.

El almacenamiento de la información se realizó en forma electrónica en la base de datos Access, los datos correspondientes a cada uno de los materiales para todo el tiempo de caracterización se presentan en el Apéndice D y el manual de la base de datos se presenta en el Apéndice E.

3.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los residuos plásticos que llegan a la bodega, se presentan generalmente en forma de envases y películas (bolsas), los envases corresponden el 79% del material plástico seleccionado en la bodega, su mayor representatividad se atribuye a la facilidad de separación en la fuente y a que conserva un estado más aceptable en lo referente a coloración, limpieza y presentación al terminar su vida útil. Las películas plásticas tienen como limitación para su disposición en la ruta de materiales aprovechables su estado después del uso que se les da, pues en el caso de protección y conservación de alimentos, sufren mayor contaminación y su limpieza en la fuente de producción no es un hábito, por lo que se disponen comúnmente en los residuos que se llevan al relleno sanitario.

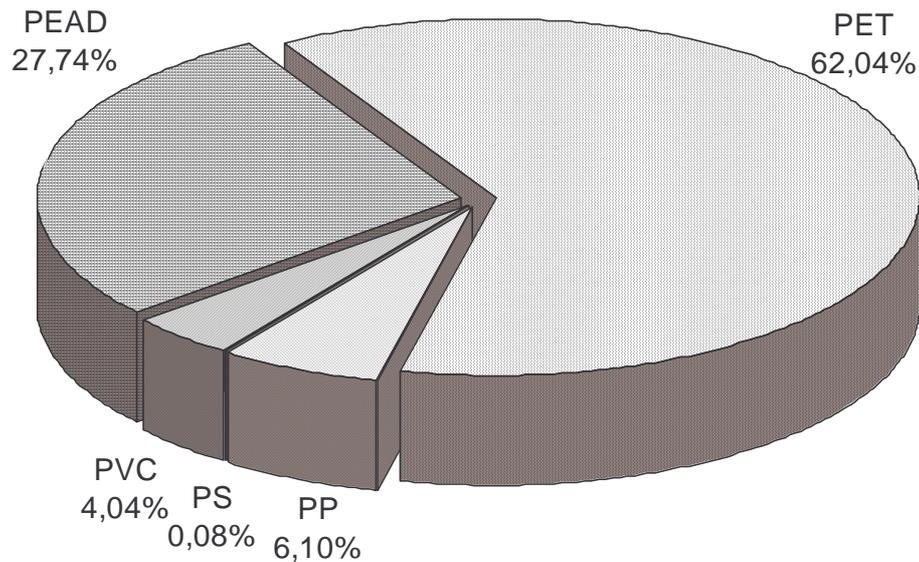
En la Figura 12 se presenta la distribución de los residuos plásticos de presentación envases que se caracterizaron en la bodega por tipo de resinas, esta permite establecer que la mayor parte de material dispuesto en la ruta de reciclaje por las diferentes fuentes generadoras es el polímero Polietilen Tereftalato (PET), al que corresponde el 62% de los residuos plásticos, seguido por el Polietileno de Alta Densidad, PEAD, con un 28% y por el polipropileno (PP) 6% de los residuos caracterizados.

La representatividad de los artículos a base de PET en el material caracterizado se atribuye a que las principales aplicaciones de los envases de esta resina para productos de consumo doméstico y comercial son los de bebidas gaseosas, aceites, agua mineral y algunos detergentes líquidos, los cuales son a su vez, las principales fuentes de producción y disposición de residuos aprovechables para la ruta de reciclaje en la ciudad; esto es igualmente explicativo para los residuos cuyo polímero es el PEAD, pues entre sus mayores usos de envasamiento de productos domésticos se encuentran los derivados lácteos, shampoo, suavizantes y desinfectantes entre otros.

Los materiales cuyas cantidades fueron las más bajas dentro de materiales tipo envases seleccionados fueron el Policloruro de Vinilo (PVC) con 4% y el poliestireno (PS) con un 0.08%. La cantidad de poliestireno, es muy inferior frente a la de los demás residuos plásticos; entre las principales causas de esta baja representatividad se puede considerar el hecho de que la mayoría de los implementos a base de esta resina llegan en mal estado, ya que uno de sus principales usos en artículos domésticos de corta vida útil, son los utensilios de bazar, tales como platos y vasos desechables e igualmente cajas de comida desechables y envases de yogurt; frente a los cuales las personas no tiene la costumbre de realizar un lavado para su disposición para la ruta del reciclaje, perdiéndose así por el mal estado en el que generalmente llega a la planta.

Residuos plásticos de la categoría otros, tan sólo se encontraron en la muestra que se presentó en la taller de capacitación, esto debido a que los artículos o aplicaciones de estas resinas son de larga vida, tales como carcasas de electrodomésticos, discos compactos, cascos, gafas de protección entre otros, lo que hace que su presentación en los residuos sea inferior a la de otras resinas de aplicaciones más comunes y cuyos usos hacen partes de ciclos de consumo más cortos.

Figura 12. Distribución de los polímeros en el plástico recuperado en la ruta de reciclaje.

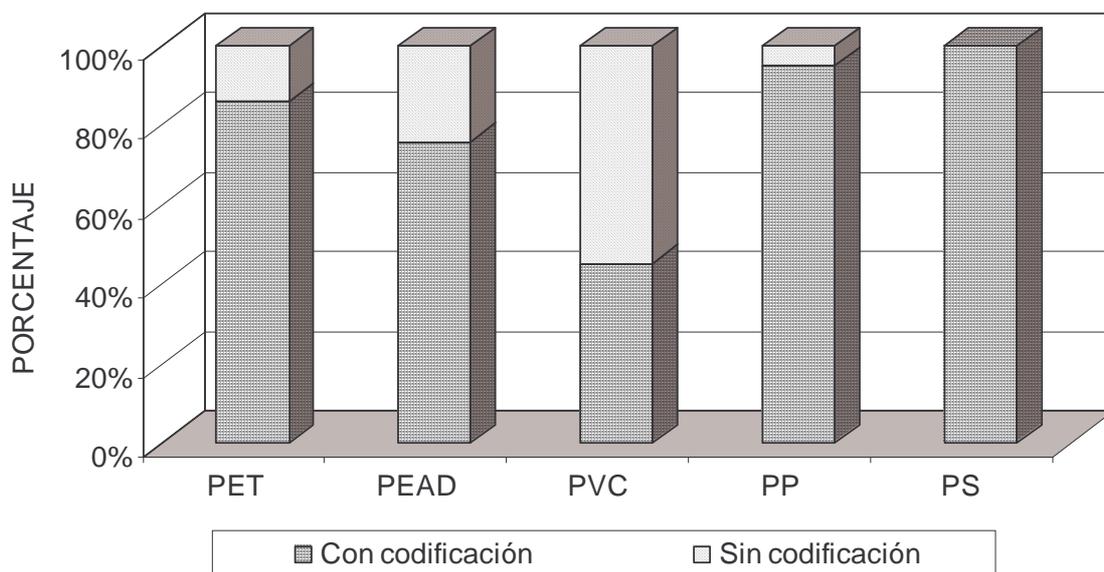


Fuente: Propia

En la Figura 13 se observa la distribución de los residuos plásticos caracterizados por polímero y por presentación de la codificación SPI en los envases; esta permite ver que la mayor parte de los envases están codificados, lo que puede considerarse como consecuencia de las acciones adelantadas por el gremio de Empresas Plástica de Colombia quienes han promovido la utilización de la codificación en los productos plásticos de las empresas vinculadas al gremio para incentivar y facilitar el reciclaje.

Los residuos a base de polipropileno (PP) fueron los materiales caracterizados que más presentaron la codificación SPI, de su cantidad un 95% estaba codificado; más este valor está sesgado en la medida que se considera que gran parte del material no caracterizado pudo ser producido o formado a partir de este tipo de polímero, más su separación o ubicación dentro de este grupo se limitó principalmente como parámetro de seguridad, por la variedad de características ópticas que estos presentaban y las cuales eran atribuibles a más de un polímero, lo cual es producto de la variedad que los aditivos dan hoy en día a los plásticos.

Figura 13. Codificación de los residuos plásticos



Fuente: propia

La gran variedad de aditivos que existen hoy en el mercado y la versatilidad que estos dan a los productos, dificultó la identificación de las resinas visualmente, aunque en ciertas aplicaciones tales como los envases de cremas o de productos en los que se requiere la conservación de aromas, se infirió que eran a base de polipropileno, por su gran capacidad de retener fragancias.

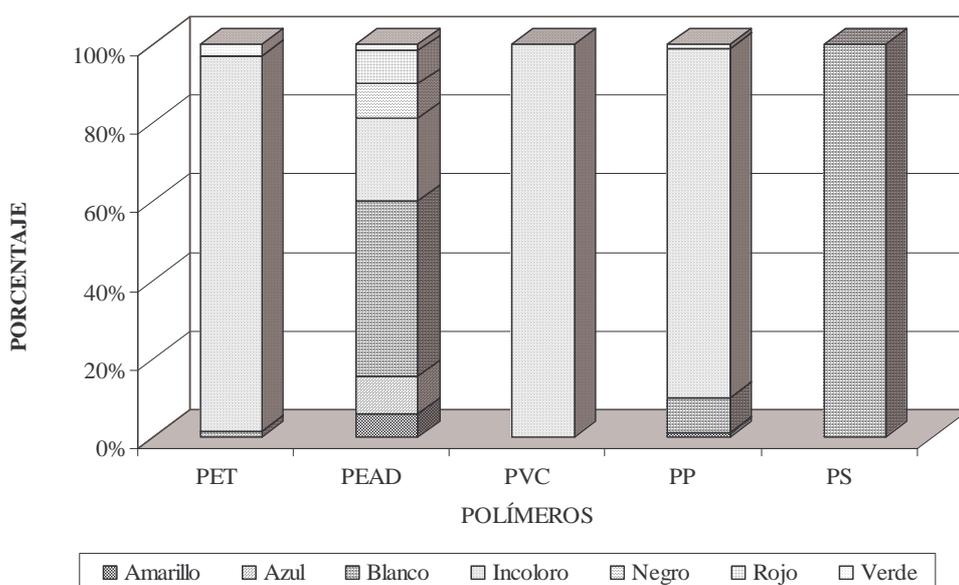
En la Figura 14 se presenta la distribución en la coloración en los residuos plásticos caracterizados en la bodega por tipo de polímero. Mediante la observación del gráfico se puede establecer para cada polímero:

- § Los residuos caracterizados del polímero PET son en un 95.6% incoloros, lo que es consecuente con los principales usos de esta resina en envases de bebidas carbonatadas, agua mineral y aceites, cuyas presentaciones son en envases transparentes y de alto brillo generalmente. Los residuos de PET, cuya coloración fueron blanco y verde, tienen una representatividad muy baja tan sólo de 1.6% y 2.8% respectivamente y están vinculados principalmente a algunas bebidas gaseosas y suplementos energéticos.
- § El PEAD es el polímero que más presenta variedad en la coloración de sus aplicaciones, predominando principalmente el color blanco (44.78%), seguido por el incoloro (21.15%), el azul (9.62%), el rojo y negro con 8.52% cada uno, amarillo (5.77%) y verde (1.6%). Esta variedad es consecuencia del amplio uso de esta resina en productos de la canasta familiar tales como envases de detergentes, yogures, shampoo, lavanda, garrafas de jugo, envases de aceites

de automóviles y motos que generalmente presenta una gran variedad de color en sus presentaciones, lo cual es factible, gracias a que la resina PEAD permite ser coloreada.

- § El PVC aunque es uno de los materiales menos recolectados en la ruta de reciclaje, es uno de los materiales que mayor uniformidad presentó en el color, pues el total de material caracterizado fue incoloro.
- § El PS caracterizado fue en su totalidad material de color blanco, pues entre los usos de corta vida útil de este polímero y de consumo en la canasta familiar y centros comerciales están el yogurt en presentación personal y las cremas lavaplatos, cuyas presentaciones son generalmente pots blancos.

Figura 14. Distribución de los polímeros caracterizados de acuerdo con sus coloraciones.



Fuente: Propia.

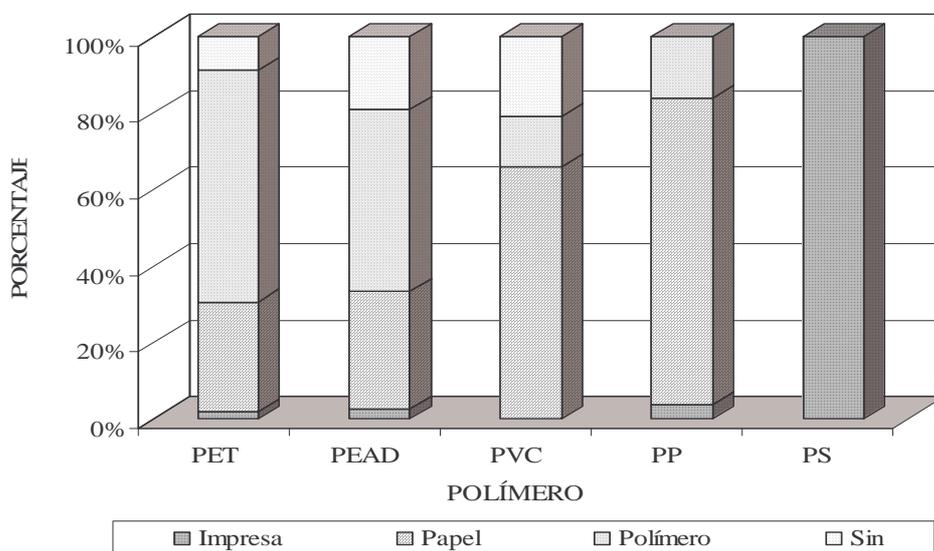
En la Figura 15 se presenta la distribución de las cantidades en los polímeros caracterizados según los diferentes tipos de etiqueta, de esta se puede establecer:

- § El tipo de etiquetas más utilizada en el PET es la de tipo polímero, lo cual representa el 60.7% del total caracterizado de este polímero. Esta combinación se presenta generalmente en las botellas de gaseosas. La cantidad de polietileno tereftalato con etiqueta de papel en su mayoría proviene de envases de aceites y corresponde al 28.7%. La etiqueta impresa, en este polímero es un

1,84%, es importante resaltar que este es el material con la mayor cantidad de etiqueta impresa.

- § PEAD: en los envases de polietileno de alta densidad los tipos de etiquetas predominantes son la plástica y la de tipo papel, la primera es muy común en blanqueadores, algunas marcas de yogures y shampoo, mientras que la segunda se presenta generalmente en suavizantes de ropa, algunos envases de medicamentos líquidos, cremas entre otros. Los envases de polietileno de alta densidad son los que presentan mayor cantidad de material sin etiqueta (20.4%), esto se asocia a que uno de sus principales usos vistos en los residuos plásticos que llegan a la bodega es el de envases de derivados lácteos caseros que generalmente no presentan etiqueta y de desinfectantes que muy comúnmente llegan a la bodega sin ella.
- § PP: es de los residuos plásticos caracterizados, el material con mayor uniformidad en el tipo de etiquetas, pues el 80% de estos presentaron etiqueta tipo papel, esto porque entre los usos comerciales y domésticos de ciertos polímeros de esta resina sobresalen los galones de agua, limpiadores y aromatizantes para pisos.

Figura 15. Variación de las cantidades de plástico en función del tipo de etiqueta.



Fuente: Propia.

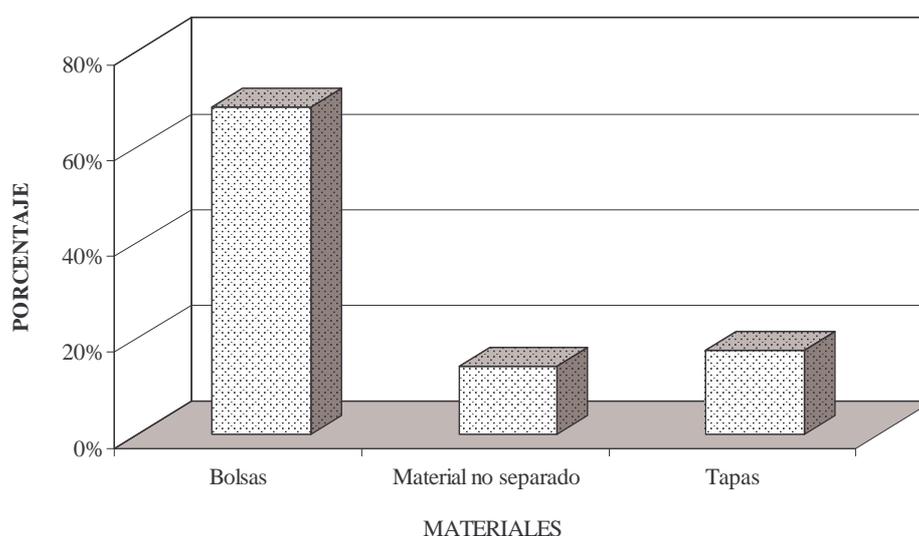
En la Figura 16 se presenta la distribución porcentual de los materiales no caracterizados, en la que se puede ver que la mayor parte del material corresponde a bolsas o películas plásticas, las cuales son principalmente

empaques de leche, arroz, galletas, bolsas de supermercado entre otras, las cuales presentan gran variedad tanto en color como en polímero de fabricación.

El Material no separado representó el 14% del material no caracterizado, sus colores son muy variados y entre ellos se cuentan el blanco, rojo, café, negro, verde, amarillo, marrón, habano entre otros.

Las cantidades de los materiales caracterizados para cada polímero durante el tiempo de selección y clasificación se presentan en la Tabla 13 y las de los materiales no caracterizados correspondientes a bolsas, material no separado y tapas se presentan en la Tabla 14.

Figura 16. Materiales no caracterizados.



Fuente: Propia

Tabla 13. Cantidades de los residuos plásticos caracterizados por polímero

Polímero	Cantidad (Kg)	Porcentaje (%)
Poliétilen Tereftalato (PET)	814	62.04
Poliétileno de Alta Densidad (PEAD)	364	27.74
Policloruro de Vinilo (PVC)	53	4.04
Polipropileno (PP)	80	6.10
Poliestireno (PS)	1	0.08
Total	1312	100.00

Fuente: Propia

Tabla 14. Cantidades de los materiales no caracterizados.

Material	Cantidad (Kg.)	Porcentaje (%)
Bolsas	403	68.19
Tapas	104	17.60
<i>Material no seleccionado</i>	84	14.21
Total	591	100.00

Fuente: Propia

3.4 CONCLUSIÓN

La separación de los residuos plásticos de la ruta de reciclaje de Popayán permitió establecer que la presentación más frecuente de los residuos plásticos es la de envases, lo cual es consistente con el consumo de resinas por sectores productivos en Colombia en donde la mayor demanda se presenta en el sector de envases y empaques.

La selección de los residuos plásticos permitió establecer que las resinas que más llegan a la bodega son el Polietilen Tereftalato (PET), el Polietileno de Alta Densidad (PEAD) y el Polipropileno (PP), las cuales abarcan cerca del 96% del material seleccionado, con una marcada diferencia en representatividad del PET; mientras que residuos plásticos cuya resina de fabricación fueron el Policloruro de Vinilo (PVC), Poliestireno (PS) y resinas pertenecientes a la categoría otros del sistema de Codificación SPI no fueron representativos en los materiales seleccionados en la bodega .

De las diferentes resinas recolectadas, los envases fabricados en PS, PET y PP presentaron en más de un 80% la codificación SPI, que permite identificar el tipo de resina con el cual fueron fabricados. Sólo el 50% de los envases de PVC presentaron la codificación.

La mayor variación del color se presentó en los residuos de PEAD, mientras que residuos plásticos de PET, PP y PS se caracterizaron por una mayor uniformidad en el mismo, el PET y el PP por ejemplo se caracterizaron por ser en su mayoría incoloro, y el PS de color blanco.

El tipo de etiqueta que más se presentó en los residuos plásticos caracterizados es la tipo polímero, principalmente en envases de PET y PEAD. La segunda etiqueta más encontrada fue la de papel, la cual fue común en los envases de PEAD y PP. Los envases con etiqueta impresa y sin etiqueta fueron más frecuentes en envases de PET y PEAD respectivamente, aunque sin alcanzar cantidades representativas dentro del total de los residuos de estas resinas.

4 PROCESO PARA EL RECICLAJE DE RESIDUOS PLÁSTICOS

4.1 INTRODUCCIÓN

En Colombia el tipo de reciclaje más utilizado para los residuos plásticos es el mecánico, el cual tiene como operaciones básicas la selección, la adecuación (implica molienda y lavado), la extrusión y la transformación de los residuos plásticos.

En Popayán el grupo de Aseo de la Alcaldía Municipal, determinó implementar para el aprovechamiento de los residuos plásticos una transformación física de los mismos mediante el tratamiento mecánico, la maquinaria requerida fue presentada a licitación y actualmente está en construcción, por lo que en este capítulo se presenta una propuesta de transformación de los residuos y recomendaciones que irán en el capítulo correspondiente.

Los impactos generados sobre los recursos naturales durante las etapas del reciclaje mecánico, junto con las medidas de prevención, control y mitigación se presentan en el Apéndice F.

4.2 RECICLAJE MECÁNICO DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS EN POPAYÁN

A continuación se describe el proceso de reciclaje mecánico a implementarse en la ciudad de Popayán.

4.2.1 Separación en la fuente.

La separación en la fuente por parte del generador de los residuos aprovechables es una condición necesaria para llevar a cabo una recolección selectiva de los residuos y es el proceso que antecede a la recolección. La separación en la fuente de los residuos plásticos pos-industriales o pos-consumo, puede ser realizada mediante la separación de los materiales no plásticos antes de su recolección, o pueden realizarse mediante la separación de una corriente mixta de residuos después de su recolección; cuando la cantidad de residuos plásticos es significativa en recipientes o bolsas, estos se pueden depositar con los demás

residuos aprovechables, más sí es predominante, los residuos plásticos pueden ser separados de los demás materiales aprovechables.

En Popayán la separación es realizada por los generadores, generalmente conformados por viviendas y centros comerciales aunque se suma esporádicamente la separación de los residuos plásticos de las distribuidoras de gaseosas en la ciudad; para los dos primeros casos, los usuarios separan conjuntamente los residuos aprovechables; mientras que en los últimos por el tipo de organización y servicio comercial los residuos son exclusivamente plásticos.

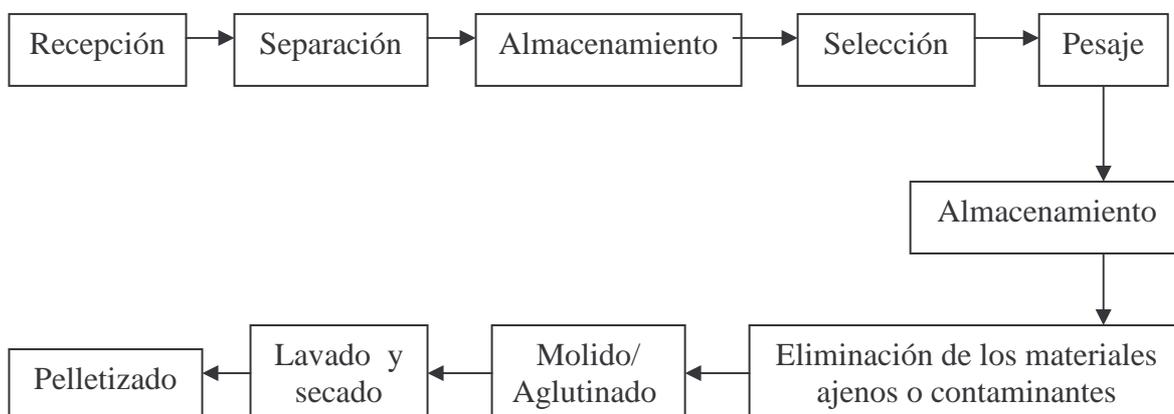
4.2.2 Recolección.

La recolección es el mecanismo de acopio de los residuos, sean de fuente pos-industrial o pos consumo. La recolección de los residuos aprovechables en Popayán es de tipo selectiva; la cual corresponde a un tipo de recolección técnica de los residuos reciclables y diferentes a la que se presta para los residuos destinados al relleno sanitario, puede ser realizada por el generador o por la entidad prestadora del servicio público de aseo.

En Popayán esta operación es realizada por el grupo de Aseo de la alcaldía municipal, mediante la ruta de reciclaje, la cual se desarrolla de lunes a sábado y recorre diferentes barrios de la ciudad.

Las anteriores dos operaciones se realizan fuera de la planta, en la Figura 17 se presenta el diagrama de flujo del proceso de reciclaje de plásticos en la bodega de reciclaje.

Figura 17. Diagrama de flujo del proceso de reciclaje.



Fuente: Propia

4.2.3 Recepción:

En la Figura 18 se presenta una imagen de la etapa de recepción de los materiales recolectados por la ruta de reciclaje en la ciudad de Popayán.

Figura 18. Recepción de los residuos recuperables de la ruta de reciclaje.



Fuente: propia

La recepción o acopio de los residuos se realiza en la bodega de reciclaje, ubicada en el relleno sanitario, la cual tiene un área 426 m² y su distribución es en módulos los cuales son básicamente:

- § Área de recepción
- § Área de separación
- § Área de almacenamiento
- § Área de procesamiento

La recepción de los materiales aprovechables se realiza en la puerta de la bodega, de donde los empleados los trasladan manualmente hacia la sección de separación.

4.2.4 Separación

La separación de los diferentes materiales aprovechables se realiza en forma manual, mediante la separación en sus diferentes categorías tales como cartón, vidrio, papel, chatarra y plásticos, lo cual se puede observar en la Figura 19. El

papel al separarse se dispone en costales, el vidrio se tritura de forma manual con un martillo, con el cartón se forman pacas y el plástico se dispone en un sitio de almacenamiento temporal para su posterior selección.

Figura 19. Separación de los materiales.



Fuente: propia

4.2.5 Almacenamiento

Los residuos separados son almacenados en el área correspondiente a cada uno de ellos dentro de la bodega.

4.2.6 Selección y clasificación residuos plásticos

Es la actividad de separar los desperdicios plásticos por tipo de producto, color (envase, película, etc.) o según el material plástico acorde con los códigos internacionales o por densidad; en donde el sistema de codificación de los plásticos, el código SPI, es una herramienta útil para facilitar la selección y clasificación de los residuos plásticos [2].

La selección y clasificación de los residuos plásticos se desarrollo tal como se expuso en el capítulo tres. En la Figura 20 se puede observar algunos residuos plásticos seleccionados y clasificados en función de algunas de las variables trabajadas.

Figura 20. Selección y clasificación residuos plásticos



Fuente: Propia

4.2.7 Pesaje

Los materiales seleccionados y separados con base en el código SPI y las características físicas, se dispusieron temporalmente en costales, los cuales fueron pesados en una báscula de reloj cuya capacidad mínima es de 1 Kg. en la Figura 21 se puede observar el desarrollo de esta operación en la planta de reciclaje.

Figura 21. Pesaje de los residuos plásticos.



Fuente: Propia

4.2.8 Almacenamiento

Los residuos plásticos seleccionados y separados por tipo de polímero fueron almacenados en casillas; las cuales tienen las siguientes dimensiones 0.80 x 2.5 x 6 m para un volumen efectivo de 12 m³. El almacenamiento de los materiales se puede observar en la Figura 22.

Residuos plásticos a base de Polietileno Tereftalato (PET), que son generalmente envases de gaseosas, necesitaron ser almacenados en lugares adicionales, pues las casillas fueron insuficientes, dado principalmente a la cantidad y volumen de los envases y a la baja capacidad de las mismas.

Figura 22. Almacenamiento de los residuos plásticos.



Fuente: Propia

4.2.9 Molienda

El material plástico seleccionado será sometido a una operación mecánica de reducción de tamaño, tanto para facilitar su lavado como su paso por la extrusora, a la vez que permitirá reducir el volumen de los residuos plásticos en la bodega durante el tiempo de almacenamiento que se considere necesario para desarrollar la transformación de los residuos plásticos.

La operación se realizará en un molino cuyas especificaciones técnicas presentadas en el proyecto de términos de referencia para la adquisición de los equipos para el tratamiento de los residuos inorgánicos son:

- § Tolva de carga y descarga
- § 6 cuchillas volantes como mínimo
- § Eje central
- § Motor trifásico 20 HP
- § Velocidad 1700 RPM
- § Chasis en HR de Siderúrgica
- § Capacidad para todo tipo de plástico
- § Cribas para dos tamaños como mínimo
- § Rendimiento 1 ton/día.

Con base en las anteriores especificaciones de diseño, considerando que el proceso de molienda es continuo, y que la jornada de trabajo es de 6 horas y el rendimiento es de aproximadamente 1000 Kg./día la capacidad nominal de la máquina será de 166.67 Kg./hora.

4.2.10 Lavado y secado

El proceso de lavado de los materiales plásticos se desarrollará en la lavadora que se presenta en la Figura 23.

Figura 23. Lavadora de plásticos



Fuente: Propia

Con el lavado se buscará remover de los residuos plásticos los contaminantes presentes, tales como alimentos, grasas, polvo, tierra, etc. Las especificaciones para la lavadora presentadas en el proyecto son:

- § Bandeja de llenado
- § Bandeja de descargue
- § Motor trifásico 20 HP mínimo
- § Velocidad 1700 RPM
- § Cavity interior de 0.90 m como mínimo, inoxidable y de fácil limpieza
- § Función picado y lavado
- § Estructura en HR de Siderúrgica
- § Mínimo dos cuchillas volantes
- § Eje de tres pulgadas de diámetro
- § Rendimiento 1 ton/día.

La capacidad o rendimiento nominal diario de la lavadora se calculó con base en la consideración de que la capacidad de carga por ciclo de lavado de plástico será 10 Kg.

Cada ciclo tendrá una duración de 15 minutos, distribuidos de la siguiente manera: 6 minutos para la carga de material, 3 minutos para lavado y seis para la descarga del material. El tiempo de lavado se divide en dos periodos, uno inicial cuya duración es de un minuto, durante el cual se desarrollará el lavado con una solución de agua más detergente y una final de dos minutos en la cual se enjuagará el plástico, para proceder finalmente al proceso de secado.

Para el lavado de los plásticos se recomienda usar Metasilicato de Sodio Pentahidratado, el cual se mezcla bien con la mayoría de los materiales secos utilizados en compuestos de detergentes. Es compatible con agentes humectantes, detergentes iónicos y no iónicos, blanqueadores ópticos, agentes oxidantes, jabones y otros silicatos y álcalis en polvo.

Los silicatos solubles son agentes que previenen la redeposición de la mugre, pues una vez han suspendido la mugre, previenen que las partículas de mugre se asienten o se readhieran a la superficie del material que se está limpiando.

El metasilicato de sodio tiene una forma cristalina definida y una relación molecular $\text{SiO}/\text{Na}_2\text{O}$ de 1:1; Es fácilmente soluble en agua fría y caliente, forma soluciones que no son viscosas o pegajosas, el pH de las soluciones de Metasilicato de sodio es alto (10.5).

La alcalinidad del metasilicato de sodio le permite neutralizar mugre ácida, ayudar a la saponificación y emulsificación de grasas y aceites y reforzar la solubilidad o dispersión de pinturas y algunos materiales proteínados. La fuerte capacidad

amortiguadora de los silicatos mantiene el pH a un nivel alto en la presencia de manchas ácidas en dilución.

Para el desarrollo del lavado se requieren dos tanques, un tanque 1 que garantizará un suministro constante de agua de lavado y un tanque 2 que abastecerá la solución de detergente, las capacidades de los tanques que abastecerán el proceso de lavado es de 1000L cada uno, los cuales deberán ser alimentados continuamente durante el desarrollo del proceso. La tubería que se utilizará es PVC, con un diámetro de ½".

Para garantizar un flujo constante de 0.24 l/seg se requiere tener unas pérdidas por accesorios de 2.53 m para el flujo de agua potable (tanque 1) y de 1.44 m (tanque 2) para el flujo de la solución de agua con detergente, cuando la velocidad en la conducción es de 1.895m/seg. Para cumplir con estos requisitos se recomienda utilizar los accesorios que se presentan en las tablas 15 y 16 correspondientes a tanque 1 y 2 respectivamente.

Tabla 15. Accesorios para el tanque de agua.

Punto	Tipo de accesorio	Distancia desde la entrada a la tubería (m)	Coefficiente de pérdida [5]
1	Conexión de entrada		
2	Entrada a tubería		0.5
3	Válvula de compuerta aproximadamente ½ cerrada	0.60	3.29
4	Tee de paso directo con extremos lisos	1.0	0.2
5	Válvula bola 1/3 cerrada	1.60	5.5
6	Tee de paso directo con extremos lisos	2.10	0.2
7	Válvula cheque sentido del flujo	2.70	2
8	Tee de salida de lado con extremos lisos	3.25	1.0
9	Unión universal con extremos roscados	5.25	0.08
10	Tee de salida de lado con extremos lisos	7.25	1.0
11	Válvula bola totalmente abierta	7.25	0.05

Fuente: Propia

Tabla 16. Accesorios para el tanque de la solución de detergente.

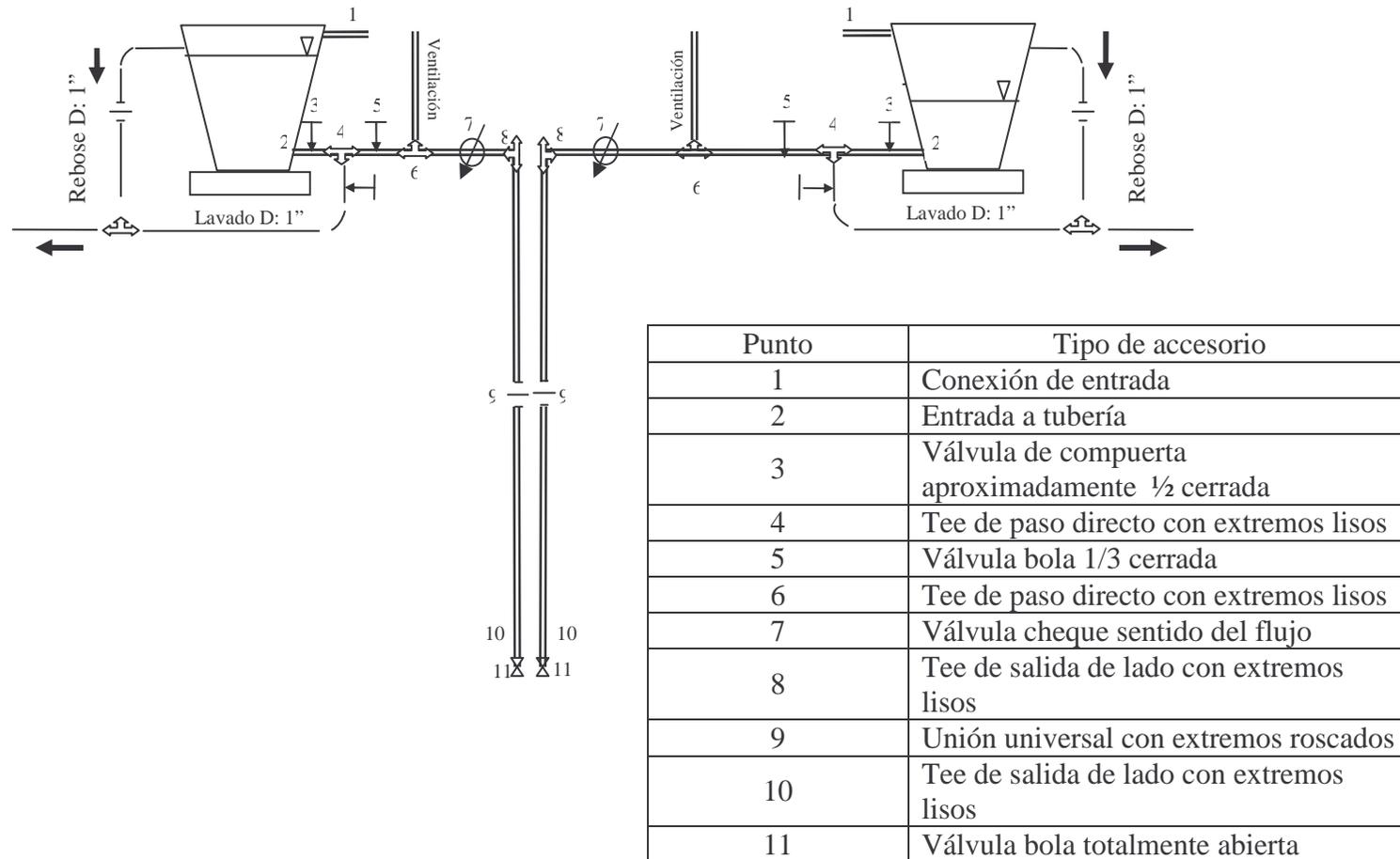
Punto	Tipo de accesorio	Distancia desde la entrada a la tubería (m)	Coefficiente de pérdida [5]
1	Conexión de entrada		
2	Entrada a tubería		0.5
3	Válvula de compuerta ½ cerrada	0.40	2.1
4	Tee de paso directo con extremos lisos	0.70	0.2
5	Válvula bola con una apertura parcial de 0.65	1.00	0.72
6	Tee de paso directo con extremos lisos	1.30	0.2
7	Válvula cheque sentido del flujo	1.70	2
8	Tee de salida de lado con extremos lisos	2.0	1.0
9	Unión universal con extremos roscados	3.0	0.08
10	Tee de salida de lado con extremos lisos	4.0	1.0
11	Válvula bola totalmente abierta	4.0	0.05

Fuente: Propia.

De presentarse variaciones en el caudal durante su chequeo, tal como el que sea mayor al especificado (0.24 l/seg), se debe realizar el cierre gradual de la válvula de compuerta ubicada en el punto 3, hasta que por aforos se establezca y consiga el flujo deseado.

En la Figura 24 se presenta un esquema de los tanques y sus respectivos accesorios. Las distancias entre los tanques se establecieron mediante la ubicación de cada uno de ellos sobre dos columnas que están separadas por 6.0 metros y que son cercanas al área de lavado.

Figura 24. Esquema de los tanques para el suministro de agua de lavado.

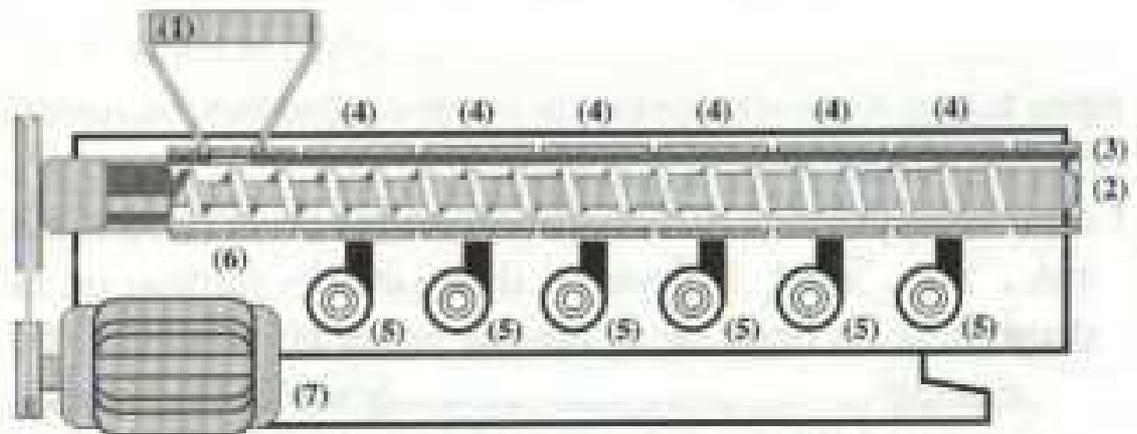


4.2.11 Extrusión

La extrusión es una técnica de procesamiento de resinas bajo la cual, la resina, generalmente en estado sólido (polvo, granos), es alimentada a través de una tolva y posteriormente transportada a lo largo de un tornillo donde lentamente resulta compactada, fundida, mezclada y homogeneizada para finalmente ser dosificada a través de una boquilla conformadora responsable de proporcionarle, de manera continua, el perfil y/o la forma deseada en el producto final.

En la Figura 25 se presenta un extrusor, donde se indica la estructura o conformación del mismo; las partes de un extrusor son básicamente la tolva de alimentación, el tornillo de extrusión, el barril o cilindro, las bandas de calefacción, los ventiladores, la banda de enfriamiento y el motor.

Figura 25. Esquema de un extrusor.



1.-Tolva de alimentación 2.-Tornillo de extrusión 3.-Barril o cilindro 4.-Bandas de calefacción 5.-Ventiladores 6.-Banda de enfriamiento 7.-Motor.

Fuente: www.venezuelaenplásticos.com

La Tolva es el reservorio encargado de la alimentación de la resina a la extrusora. Una alimentación inapropiada puede ocasionar reducciones en la productividad de la línea, estas se generan normalmente por inestabilidades en el flujo. Generalmente, el volumen de la tolva debe ser proporcional a la capacidad de producción de la extrusora garantizando en todo momento una alimentación constante.

El diámetro de salida de la tolva suele tener un ancho equivalente al diámetro del tornillo de la extrusora y un largo de 1.5 a 2.0 veces el diámetro. La mayor parte de las tolvas de alimentación incluyen una trampa magnética; la cual es una rejilla formada por barras imantadas. Esta trampa se coloca con el propósito de impedir el paso al tornillo de elementos metálicos que puedan dañarlo, como por ejemplo: grapas, tuercas, tornillos, arandelas, etc.

El Tornillo de Extrusión, que se presenta en la Figura 26 es el elemento mecánico responsable de las operaciones de transporte, fusión y bombeo o dosificación de la resina. El tornillo de extrusión puede dividirse en zona de transporte, zona de fusión y zona de dosificación.

Figura 26. Esquema de un tornillo simple de extrusión.



Fuente: www.venezuelaenplásticos.com

En la zona de transporte se busca maximizar la alimentación de resina a la extrusora y con ello su productividad, el diseño de los tornillos de extrusión presenta en la zona de transporte la mayor profundidad de canal (mayor volumen). Uno de los requerimientos más importantes que debe satisfacer todo tornillo en la zona de alimentación o transporte es tener una superficie muy lisa, para favorecer la adhesión de la resina a la superficie del barril o cilindro de la extrusora y no al tornillo, permitiendo así un transporte de resina más eficiente.

A medida que el material avanza a lo largo de la zona de alimentación, empieza a ser compactado y calentado, dos mecanismos son responsables de este calentamiento, el primero de ellos es debido a los efectos de fricción, mientras que el segundo es debido a la conducción de calor desde las bandas de calentamiento del barril. Se ha determinado que de un 80 a 90% del calor transmitido al polímero proviene de los efectos de fricción, o calentamiento por conversión de la energía mecánica.

La segunda zona del tornillo en donde se da la fusión de la resina, se presenta una progresiva reducción del canal (menor volumen), esto debido a que durante la fusión del material se produce un incremento de su densidad aparente, como producto de la reducción de los intersticios entre partículas sólidas presentes. Generalmente el inicio de la fusión ocurre a poca distancia de la tolva y se extiende hasta aproximadamente el 50-60% de la longitud de la extrusora.

Una de las teorías más aceptadas para explicar el proceso de fusión del polímero en una extrusora es el modelo plastificante de Tadmor. El cual considera que la mayor generación de calor en el proceso se origina en la interface barril - lecho de polímero sólido, las primeras trazas de fundido tienden a aparecer en la cercanía del barril, como producto de su mayor movilidad, este material fundido, busca llenar los intersticios presentes en la resina sólida, solidificándose nuevamente en su trayectoria. La migración de material fundido hacia los intersticios hace que el material sólido constantemente se encuentre expuesto a la pared del barril, propiciando así la formación de un ciclo: sólido-fundido-sólido. Este ciclo no logra mantenerse en equilibrio durante un largo tiempo por causa del aumento de temperatura generada por la fricción, por lo que finalmente se origina una pequeña película de fundido que queda, de modo permanente, en la parte superior del canal, cubriendo la interfase barril / lecho sólido. Esta película de fundido crece en espesor y, una vez alcanzada una altura mayor que la luz entre el filete y el barril, comienza la formación de un depósito de fundido ubicado entre el lecho sólido y el flanco activo del filete.

En una extrusora bien operada, se desea que la zona de fusión sea lo más corta posible, para que así el consumo de energía no sea alto, a la vez que permitirá un buen mezclado, y evitará la presencia de sólidos en la boquilla, entre otros beneficios. La longitud de plastificación depende de tres factores: el diseño geométrico del tornillo, las propiedades del material y las condiciones de operación. Los diseños actuales de tornillos están hechos de modo que puedan manejar una diversidad de materiales adecuadamente, entre las alternativas de diseño geométrico más empleadas para la reducción de la zona de fusión se encuentran las zonas tipo Maddoc, Troester y los tornillos barrera que se presentan en la Figura 27.

El diseño del tornillo en la zona de bombeo o dosificación debe garantizar además de un buen mezclado, la generación de la presión necesaria para que la masa líquida de polímero pueda atravesar las restricciones del cabezal y la boquilla, a una velocidad constante. Generalmente la zona de dosificación o bombeo tiene un volumen de canal constante.

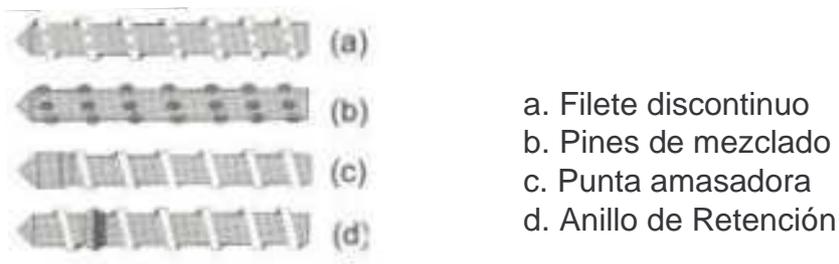
Figura 27. Tipos de sección Mezcladora.



Fuente: www.venezuelaenplásticos.com

El creciente desarrollo de la tecnología de transformación de los polímeros ha permitido la presencia de diferentes dispositivos que favorecen el mezclado homogéneo. Estos dispositivos suelen tener diseños dirigidos a permitir modificar el frente de flujo del polímero que se desplaza por el canal del tornillo promoviendo su mezcla. El mecanismo más frecuentemente utilizado se basa en la interrupción del filete del tornillo e incluso mediante la desaparición total del mismo, situación que tiene lugar en los tornillos con "puntas de amasado", el cual se puede ver en la Figura 28. Los principales parámetros empleados en la caracterización geométrica de un tornillo de extrusión se presentan en la Figura 29.

Figura 28. Tornillos con punta de mezclado distributivo y de amasado



Fuente: www.venezuelaenplásticos.com

Figura 29. Características geométricas generales de los tornillos de extrusión.



D: Diámetro, P: Paso de ancho de canal, A: Ancho del Filete, H: Altura del canal, a: Angulo de la hélice.

Fuente: www.venezuelaenplásticos.com

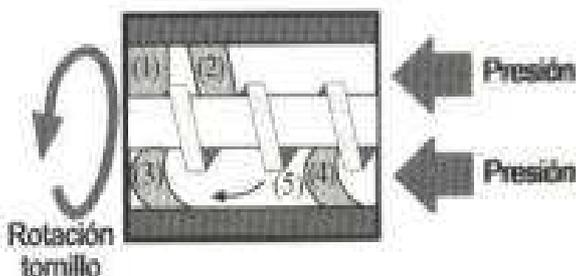
En el caso de las poliolefinas los tornillos de extrusión suelen tener como características geométricas:

- § Longitud total del tornillo 20 a 30D (más común 28D)
- § Longitud de la zona de alimentación 4 a 8 D,
- § Longitud de la zona de transición 6 a 10 D.
- § Número de hélices paralelas: 1.
- § El paso es igual al diámetro (tornillo de paso cuadrado).
- § El ángulo de la hélice es de 17.66 grados.
- § Ancho del filete 0.1 D.
- § Profundidad de canal en la zona de alimentación 0.10 a 0.15D.
- § Relación de compresión 3 a 4.

Un parámetro geométrico muy importante es la tolerancia entre el tornillo y el cilindro de la extrusora. En el procesamiento de poliolefinas, es usual conseguir tolerancias tornillo- cilindro comprendidas entre 0.00075 pulgadas y 0.002 pulgadas de radio. Tolerancias inferiores a este límite (<0.00075) podrían producir un elevado consumo eléctrico por parte del motor; mientras que tolerancias mayores (>0.002) podrían originar mayor tiempo de residencia de la resina y con ello causar su degradación.

El cálculo del caudal de producción de una extrusora, involucra diferentes parámetros algunos de los cuales son actualmente, indeterminables experimentalmente; más un caudal aproximado, se puede calcular teóricamente mediante las siguientes ecuaciones, las cuales involucran el caudal de arrastre, presión y retroceso, que se presentan en la Figura 30.

Figura 30. Esquema simplificado de los perfiles de flujo por arrastre y presión.



- | | |
|----------------------------|---------------------------------|
| 1. Estado de flujo inicial | 2. Flujo de arrastre |
| 3. Flujo por presión | 4. Flujo por arrastre y presión |
| 5. Flujo de retroceso | |

Fuente: www.venezuelaenplásticos.com

El caudal de arrastre (Q_A) es el resultante del movimiento relativo de la superficie del tornillo con respecto a la del cilindro de la extrusora. El término de flujo por arrastre es dependiente de la velocidad de giro del tornillo, su geometría y los coeficientes de fricción: polímero-tornillo, polímero-polímero y polímero-cilindro.

El flujo por presión (Q_P) es el caudal teórico de retorno, o pérdida, originado por la presencia de restricciones que se oponen al flujo, existentes en el tornillo: el cabezal y la boquilla, dadas por geometría y la viscosidad de la masa polimérica.

El flujo de retroceso (Q_R) es el resultante de la "pérdida" de la eficiencia de bombeo de la extrusora por la tolerancia entre el filete del tornillo y la pared del cilindro. El término de flujo en retroceso depende de la magnitud de la tolerancia entre el tornillo y el cilindro, de la caída de presión en la extrusora y de la viscosidad del polímero.

La Tolerancia entre el tornillo y el cilindro resulta un compromiso entre productividad y calidad del extrudado. Aunque el término de flujo en retroceso disminuye el caudal extruido, mermando la productividad de la línea, contribuye con el mezclado tanto distributivo (homogeneización) como el dispersivo (reducción de tamaño de partícula de sustancias poliméricas y no poliméricas), el cual se controla a través del tamaño de la tolerancia entre el tornillo y el cilindro.

El caudal de producción de una extrusora (Q_T) está dado por: $Q_T = Q_A - Q_P - Q_R$, siendo:

$$Q_A: \text{caudal de arrastre, } Q_A = \frac{1}{2}PHV_z$$

$$Q_p: \text{flujo por presión, } Q_p = \frac{HW \operatorname{sen}(a)}{12\mu} = \frac{\Delta P}{L}$$

$$V_z = \pi * D * N * \operatorname{COS}(a)$$

Donde:

D: diámetro del tornillo

P: ancho del canal del tornillo

H: profundidad del canal del tornillo

V_z: velocidad con la que el plástico baja del canal del barril

N: rapidez del tornillo (revoluciones por minuto)

a: ángulo helicoidal del vuelo del tornillo.

μ = viscosidad cinemática del plástico

$\Delta P/L$ = variación de la presión en el fundido en una sección de longitud *L*.

Para el desarrollo y control de temperaturas en el proceso de extrusión de cada polímero se recomienda los intervalos que se presentan en la Tabla 17, las cuales deben ser verificadas en las diferentes secciones de la extrusora.

Tabla 17. Intervalos de temperatura para el proceso de extrusión.

POLÍMERO	TEMPERATURADE REBLANDECIMIENTO °C	TEMPERATURA DE FUSIÓN °C	TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN (°C)
PET	74-76	252-260	270-285
PEAD	90-120	130-140	170-220
PEBD	80-90	110-115	150-160
PP	140-160	170-220	200-230

Fuente: Propia.

La temperatura de reblandecimiento es aquella en la que la resina pierde su consistencia y se empieza a fluidificar. La temperatura de fusión es la temperatura a la que los materiales plásticos adoptan la forma de líquidos viscosos.

Las temperaturas están presentadas en intervalos, pues las temperaturas de los plásticos varían generalmente por la presencia de aditivos, cargas o refuerzos que pueden tener los materiales y porque el reproceso de los materiales plásticos genera variación en sus propiedades, como las térmicas que son unas de las variables y mecanismos de control en el proceso de extrusión.

Las especificaciones de la extrusora de la bodega de reciclaje son:

§ Tornillo sin fin ASSAT 4140 cuyo diámetro será de 80 mm, una longitud mínima de 2 m, material en acero 4140 y una resistencia térmica para mínimo de 230-250°C

- § Chasis en HR ángulo mínimo 1/2"
- § Motor trifásico de 20 HP
- § Velocidad 1700 RPM
- § Relación 41:1
- § Boquilla de 10 salidas
- § Camisa SKF-280 de dimensiones adaptadas al tornillo. El exterior de la camisa 90mm y el interior de 80mm
- § Picado integrado y sistema de refrigeración
- § Unidad hidráulica cambia filtros
- § Tanque de enfriamiento en lámina Coll-roll
- § Tableros controladores de encendido con amperímetros.

La transformación de residuos plásticos en mezclas de polímeros es una de las opciones para algunos de los materiales que se recolectan en la ruta, pues sus cantidades individuales son aun pequeñas y requerirían mayores tiempos de almacenamiento, además, que técnicamente es viable por la compatibilidad molecular entre algunos de ellos. En la Tabla 18 se presenta una matriz de compatibilidad de las resinas la cual puede orientar el proceso de transformación para las mezclas poliméricas.

En esta tabla de tipo influencia dependencia entre polímeros, se puede ver que el PET es incompatible con los demás polímeros que generalmente llegan a la planta, por lo que este se debe trabajar individualmente. Se puede ver también que las poliolefinas (Polietilenos y Polipropileno) pueden ser procesadas en conjunto, más bajo ciertas restricciones referentes a cantidad o representatividad de los materiales en la mezcla, pues proporciones muy elevadas pueden generar un producto deficiente en propiedades mecánicas.

Tabla 18. Matriz de compatibilidad para reciclado mecánico

POLÍMERO	PE	PP	PS	PVC	PET	PC	PA
PE	1	3-4	4	4	4	4	2-4
PP	2-4	1	4	4	4	4	2-4
PS	4	4	1	4	3	2-4	3-4
PVC	4	4	2-4	1	4	3-4	4
PET	4	4	4	4	1	1	3-4
PC	4	4	2-4	4	1	1	3-4
PA	4	4	3-4	4	3	4	1

1. Buena compatibilidad

2. En conjunto hasta aproximadamente 20%

3. Usados en conjunto hasta aproximadamente 50 %

4. No compatibles

Fuente: www.selenis.com.

4.3 PRUEBAS RECOMENDADAS PARA ESTABLECER LA CALIDAD DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS RECICLADOS.

Los materiales plásticos reprocesados presentan una reducción de sus propiedades entre un 10-15% dependiendo de su estado una vez han sido desechados por el consumidor y de las condiciones del proceso de recuperación. Los usos del material plástico reprocesado dependen de las exigencias del producto, tales como sus requerimientos de resistencia al impacto, elasticidad, dureza, fluencia a la tracción entre otras. Cuando se conocen las propiedades del material recuperado y los requerimientos de sus usos se establece la necesidad de utilizar aditivos, cargas o refuerzos para mejorar sus propiedades.

Para conocer las propiedades del material plástico recuperado en la bodega se recomienda determinar la densidad y el índice de fluencia de los materiales, las cuales son propiedades físicas que permiten establecer a su vez las variaciones de otras propiedades de los materiales y que son muy influyentes en el reprocesamiento.

Los resultados de las pruebas de densidad e índice de fluencia afectan tanto el tratamiento de los plásticos como el diseño de los moldes, para establecer las variaciones de estas propiedades de los residuos plásticos de la bodega frente a sus iniciales, se puede realizar una comparación de los resultados con los estándares colombianos de materiales plásticos cuyos usos sean los envases o frente a los requerimientos en el proceso de extrusión para cada material.

La densidad es la masa por unidad de volumen de un material, sirve para identificarlo y para seguir sus cambios físicos en un ensayo, los cambios en la densidad pueden deberse a cambios en la cristalinidad, pérdida de plasticidad, absorción de solvente entre otras. La determinación de la densidad de los polímeros se realiza bajo los parámetros establecidos por las normas ASTM D 792 o ISO 1183.

En algunas poliolefinas, el reprocesamiento repetido produce una degradación de las moléculas, lo que se refleja en una disminución de la gravedad específica y en consecuencia una menor cristalinidad.

El índice de fluencia (IF) es una prueba que se realiza para estudiar el comportamiento de flujo de los termoplásticos, haciéndolos pasar bajo una carga prescrita a través de una boquilla de dimensiones estandarizadas. La cantidad de polímero en gramos que emerge en un tiempo de 10 minutos a una temperatura dada, se llama Índice de Fluidez; presenta como ventaja el requerir poco tiempo para su determinación.

El procedimiento para determinar el índice de fluidez de ASTM es el D-1238 el cual especifica temperaturas de 190°C para el polietileno y 230 °C para el polipropileno. La norma ISO 1133 indica el diámetro de la boquilla, la temperatura, el factor de la boquilla, el tiempo de referencia y la carga nominal [16].

El IF depende inversamente del peso molecular pero también depende del número, clase y distribución de las ramificaciones. A partir de la diferencia de fluidez antes y después de la transformación se obtienen conclusiones sobre la degradación sufrida por el material durante la misma.

El índice de fluencia es muy importante para determinar el tipo de procesamiento o transformación de la resina, si este es bajo, entonces indica una viscosidad elevada, y por tanto es ideal para la extrusión, en cambio un índice de fluencia alto es adecuado para la inyección.

Las variaciones que pueden presentar algunas propiedades físicas y térmicas de los materiales respecto a la disminución de la densidad y aumento del índice de fluencia se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Variación de propiedades físicas y térmicas en función de la disminución de la densidad y aumento en el índice de fluidez.

Propiedad	Disminución de la Densidad	Aumento del IF
Elongación a la rotura	Disminuye mucho	Disminuye
Modulo E	Disminuye mucho	Disminuye
Dureza	Disminuye	Disminuye poco
Temp. De fusión	Disminuye	Casi no cambia
Temp. Máxima de uso	Disminuye	Disminuye poco
Temp. De fragilización	Aumenta	Aumenta
Resistencia al impacto	Disminuye	Disminuye mucho
Hinchamiento	Aumenta mucho	Aumenta poco
Permeabilidad	aumenta	Aumenta
Tensofisuración	Disminuye	Aumenta
Transparencia	Aumenta	No cambia
Fluidez	Aumenta poco	Aumenta mucho

Fuente: <http://www.telefonica.net/web2/evielpa/triangulo.htm>

Puesto que la transformación que se va a realizar a los materiales plásticos es mediante un proceso de extrusión, de presentarse un índice de fluencia alto y viscosidad inferiores a los requeridas para este tipo de procesamiento, se hace

necesario realizar estudios y evaluación de estos parámetros con aplicación de aditivos, refuerzos o cargas y establecer la o sus dosis óptimas.

La adición de este tipo de materiales a los plásticos se deben a que estos pueden mejorar la capacidad de tratamiento de los plásticos, reducir el costo de los materiales, reducir la contracción, permitir temperaturas de curado superiores reduciendo o diluyendo materiales reactivos, mejorar el acabado de superficie, modificar las propiedades térmicas como, por ejemplo, el coeficiente de expansión, la inflamabilidad y la conductividad, mejorar las propiedades eléctricas, prevenir la degradación durante la fabricación y el servicio, conseguir un tinte o color determinado, mejorar propiedades mecánicas como por ejemplo, el módulo de elasticidad, la resistencia, la dureza, la resistencia a la abrasión y la tenacidad y reducir el coeficiente de rozamiento.

Los aditivos son sustancias químicas que se añaden a los plásticos, las categorías de estos son antioxidantes, agentes antiestáticos, colorantes, agentes de copulación, agentes de curado, retardadores de llama, agentes de formación de espuma/soplado, estabilizantes térmicos, modificadores de impacto, lubricantes, plastificantes, conservantes, auxiliares de tratamiento y estabilizantes de UV.

Los estabilizantes de UV reducen el daño causado por la exposición a la luz UV, en los procesos de producción de plásticos se añaden estabilizantes de UV, tales como el negro de carbono, aunque su uso está limitado por el color.

Los agentes de copulación se denominan a veces aceleradores y son importantes en el tratamiento de materiales compuestos. Los agentes de copulación se utilizan como tratamientos superficiales para mejorar la unión interfacial entre la matriz, los refuerzos, las cargas o los estratos. Sin este tratamiento, es imposible que muchas resinas y polímeros se adhieran a refuerzos u otros sustratos. Una buena adherencia es fundamental cuando la matriz de polímero debe transmitir la tensión de una fibra, partícula o sustrato laminar a la siguiente. Los agentes de copulación de silano y titanato son los más extendidos.

Los modificadores de impacto se pueden añadir a plásticos rígidos para mejorar o modificar las propiedades de impacto, índice de fusión, capacidad de tratamiento, acabado superficial y resistencia a la intemperie. Se emplean usualmente uno o mas monómeros (normalmente elastómeros) en diferentes cantidades.

Los colorantes permiten dar variedad a la presentación visual del producto. Al fabricar productos teñidos se emplean precolor, color seco o líquido y concentrados de color. El precolor es un material compuesto con el tono deseado. El color seco es un colorante en polvo, frecuentemente es difícil de manejar y forma polvoreadas. El color líquido tiene una base líquida y requiere bombas especiales. Un concentrado de color consiste en una resina base que lleva un alto contenido de tinte, que se presenta en forma peletizada y en dados. Existen cuatro

tipos básicos de colorantes que se emplean en estas formas, los tintes, pigmentos orgánicos, pigmentos inorgánicos y pigmentos de efecto especial.

Los pigmentos de efecto especial pueden ser orgánicos o inorgánicos. El vidrio teñido se emplea en forma de polvos finos y constituye un pigmento estable al calor y a la luz. El polvo de vidrio teñido es eficaz para aplicaciones de exterior por su estabilidad cromática y su resistencia química.

Al igual que los aditivos existen los refuerzos y las cargas: los refuerzos son ingredientes que no se disuelven en la matriz del polímero, por lo que el material pasa a ser un compuesto, estos mejoran las propiedades físicas del material compuesto, aumentando su solidez, resistencia al impacto y la rigidez. Las cargas son materiales relativamente inertes que se añaden a un plástico para modificar su resistencia, comportamiento, propiedades de trabajo y otras propiedades o para reducir los costos. Pueden aumentar el volumen o la viscosidad, sustituir ingredientes más caros, reducir la contracción en el molde y mejorar las propiedades físicas del artículo compuesto [16]. Los principales tipos de carga y sus funciones se presentan en Tabla 20.

Las fibras de vidrio son una de las cargas más utilizadas en los plásticos, por su fácil adición, por ser relativamente barata, mejorar las propiedades físicas y por poderse teñir. El vidrio teñido ofrece ventajas ópticas (sobre todo estabilidad de color) con respecto a otros colorantes químicos. Las esferas de vidrio huecas diminutas llamadas microbalones (o, también microesferas) se usan como carga para producir materiales compuestos de baja densidad.

Tabla 20. Principales tipos de cargas y sus funciones

Carga \ Función	volumen	Capacidad de tratamiento	Resistencia térmica	Resistencia eléctrica	Rigidez	Resistencia química	Dureza	Refuerzo	Conductividad eléctrica	Conductividad térmica	Lubricidad	Resistencia a la humedad	Resistencia al impacto	Resistencia a la tracción	Estabilidad dimensional
Orgánica															
Serrín	X	X												X	X
Polvo de conchas	X	X										X		X	X
Alfa celulosa (pulpa de madera)	X			X	X									X	
Fibras de sisal	X			X	X	X	X	X				X	X	X	X
Papel macerado	X			X									X		
Tela macerada	X				X								X		
Lignina	X	X													
Queratina (plumas, pelo)	X				X								X		
Rayón cortado		X	X	X		X	X	X				X	X	X	X

Carga \ Función	volumen	Capacidad de tratamiento	Resistencia térmica	Resistencia eléctrica	Rigidez	Resistencia química	Dureza	Refuerzo	Conductividad eléctrica	Conductividad térmica	Lubricidad	Resistencia a la humedad	Resistencia al impacto	Resistencia a la tracción	Estabilidad dimensional
Nilón cortado		X	X	X	X	X	X	X			X		X	X	X
Orlón cortado		X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X
Carbón en polvo	X		X		X	X						X			
Inorgánica															
Mica	X		X	X	X	X	X				X	X			X
Cuarzo			X	X	X		X					X	X		
Escamas de vidrio		X	X	X	X	X	X	X			X	X	X		
Fibras de vidrio cortadas			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	
fibras de vidrio trituradas	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X
Tierra de diatomeas	X	X	X	X	X		X						X		X
Arcilla	X	X	X	X	X		X						X		X
Silicato cálcico		X	X		X		X					X	X		X
Carbonato cálcico		X	X		X		X								
Trihidrato de alumina		X		X	X		X					X			
Aluminio en polvo					X		X	X	X	X			X		
Polvo de bronce					X		X	X	X	X			X		
Talco	X	X	X	X	X	X	X			X		X			X

Fuente: RICHARDSON & LOKENSGARD. Industria del Plástico, 1ra. Ed. Madrid: Thomson, 2003. 584p.

Sí se implementa una sola línea de proceso de las poliolefinas para obtener un material sustituto de la madera es posible requerir la adición de agentes de copulación y estabilizantes de UV, pues la exposición al sol del producto lo deterioraría, pues las poliolefinas son susceptibles a la descomposición por la luz ultravioleta solar, ya que la irradiación solar de los polímeros pueden generar el agrietamiento, ayesamiento, cambios en el color o pérdida de las propiedades físicas, eléctricas y químicas de los productos [16]. Los agentes de acople son necesarios por tratarse de una mezcla de plásticos, en las que se requiere reforzar la unión de los sustratos.

Los colorantes en la recuperación de residuos plásticos son importantes para la homogenización del color y para el cumplimiento de requerimientos comerciales, sí se realiza líneas de tratamiento para cada polímero se podría utilizar tintes, los cuales son colorantes orgánicos solubles en los plásticos que dan color al material formando uniones químicas con moléculas.

Respecto al reciclaje del PET, en un estudio comparativo de PET reciclado realizado por el centro tecnológico de Plásticos y Elastómeros de Argentina en el que se utilizaron para el estudio tres materiales que fueron PET virgen EASTAPACK 9921W (1), PET 100% reciclado de preforma (posindustrial) (2) y PET 100% reciclado de botellas (posconsumo) (3), se les realizaron diferentes pruebas, tales como resistencia al punto de fluencia, modulo de tracción y resistencia al impacto, este último con un tipo de ensayo Charpy sin entalla.

El ensayo de Charpy es un método donde la viga del material a probar está apoyada en los extremos, sin ser sostenida por debajo, en donde el martillo golpea la muestra en el centro. Es un tipo de prueba de péndulo para determinar la resistencia al impacto; su resultado es la medida de la energía o trabajo absorbida por la muestra. Entalla es la condición final que puede presentar el material una vez realizada la prueba y hace referencia a sufrir un cambio en su superficie.

Los resultados se presentan en la Tabla 21, y permitieron concluir que el PET reciclado, presenta condiciones favorables para su utilización, pues sus propiedades mecánicas no sufren variaciones considerables.

Tabla 21. Resultados de pruebas realizadas al PET virgen, PET reciclado pos industrial y pos consumo.

Prueba	Unidades	Norma utilizada	Condiciones de laboratorio				PET 1	PET 2	PET 3
			Temperatura de ensayo	Humedad ambiente	Velocidad de ensayo	Probeta tipo			
Resistencia al punto de fluencia	N/mm ²	ASTM D638M	23°C +/- 2°C	50% +/- 5%	50 mm/min	M-I	56.7	56.4	55.8
Modulo de tracción	N/mm ²	ASTM D638M					2650.5	2650.3	2592.7
Resistencia al impacto			23°C +/- 2°C	50 % +/- 5%			No rompe	No rompe	No rompe

Fuente: <http://www.arpet.org/>

4.4 CONCLUSIÓN

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, un sobredimensionamiento en el tornillo de la extrusora puede generar un material plástico de características físicas y mecánicas muy inferiores a las deseadas por la sobre exposición al calor del material. La alta generación de calor puede ser producto del efecto fricción, que transfiere en cerca de un 80-90% de calor al polímero y el cual está relacionado con la longitud del tornillo, pues cuanto mayor sea su longitud, mayor será el efecto de fricción y por tanto habrá mayor generación y transferencia de calor al material.

Las poliolefinas como el Polietileno y el Polipropileno pueden ser reprocesadas en una sola mezcla, lo cual favorece el programa de reciclaje, al permitir que los ciclos de transformación de los materiales sean más cortos, pues al ser procesados individualmente requerirían mayores periodos para la recolección de las cantidades adecuadas para su procesamiento mecánico.

El reprocesamiento del PET en una mezcla polimérica no es posible por que sus propiedades térmicas son diferentes a las de otros materiales y por su incompatibilidad molecular con otros polímeros, por lo que se debe procesarlo individualmente.

Durante el procesamiento de las resinas en la extrusora se debe supervisar y controlar las temperaturas, pues se requiere que estas no sean superiores a la de los rangos de trabajo de los materiales, ya que se podrían degradar. Para la extrusión del PET el rango de la temperatura de trabajo es 270-285, para el PEAD esta entre 170 y 220 °C, para el PEBD entre 150-160 °C y para el PP entre 200 y 230 °C.

5 CONCLUSIONES

La selección de los residuos plásticos permitió establecer que las resinas que más llegan a la bodega son el Polietileno Tereftalato (PET), el Polietileno de Alta Densidad (PEAD) y el Polipropileno (PP), las cuales abarcan cerca del 96% del material seleccionado, con una marcada diferencia en representatividad del PET; mientras que residuos plásticos cuya resina de fabricación fueron el Policloruro de Vinilo (PVC), Poliestireno (PS) y resinas pertenecientes a la categoría otros del sistema de Codificación SPI no fueron representativos en los materiales seleccionados en la bodega. Las cantidades recolectadas de PET, PEAD y PP ameritan su reprocesamiento mecánico en la planta.

Las características evaluadas a los residuos plásticos como la codificación SPI, el color y el tipo de etiqueta, permitieron establecer que los residuos plásticos fabricados en PS, PET y PP se caracterizaron por presentar en más de un 80% de sus envases la codificación SPI. La mayor variación en la coloración la presentaron los residuos de PEAD, mientras que los residuos plásticos cuyo polímero fueron el PET, PP y PS se caracterizaron por una mayor uniformidad en el mismo. En lo referente al tipo de etiqueta se estableció que las más frecuentes en los envases plásticos fueron las de polímero y papel, en donde la de polímero fue muy común en envases de PET y PEAD y la de papel en los de PEAD Y PP, mientras que envases con etiqueta impresa y sin etiqueta fueron más frecuentes en envases de PET y PEAD respectivamente, aunque sin alcanzar cantidades representativas dentro del total de los residuos de estas resinas.

La línea de transformación de los residuos plásticos en la bodega de reciclaje comprenderá la separación de los residuos plásticos de los otros residuos aprovechables, la selección por tipo de resina, el almacenamiento, la adecuación, el molino/aglutinado, lavado, extrusión y corte en frío del material para obtener pellet, el cual es materia prima para la fabricación de diversos implementos plásticos.

Durante el procesamiento de las resinas en la extrusora se debe controlar que la temperatura a lo largo de la misma cuando se procese PEAD se encuentre entre 170 y 220 °C, para el PEBD entre 150-160 °C, para el PP entre 200 y 230 °C y para el PET entre 270-285°C.

6 RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan recomendaciones para cada una de las etapas del proceso de recuperación de los residuos plásticos, de las cuales, algunas pueden ser extendidas a otros materiales recolectados por la ruta de reciclaje en la ciudad.

6.1 RECOLECCIÓN

Las campañas de promoción de la ruta de reciclaje deben proyectarse hacia un mayor compromiso por parte de la comunidad en el proceso de recuperación de los residuos y deben orientarse a informar y enseñar a las personas de forma didáctica las etapas del proceso de recuperación de los materiales reciclables y la importante labor que ellos como generadores tienen en el proceso, pues son ellos los responsables de separar y presentar los materiales reciclables a la ruta, lo cual es la base del éxito de un programa de reciclaje, pues materiales bien separados y presentados son equivalentes a materiales recuperados de mayor calidad.

En futuras campañas de promoción de la ruta de reciclaje se debe informar a la comunidad sobre la adecuación que deberán realizar a ciertos materiales para su disposición en la ruta, tal como el lavado de los envases plásticos contaminados con alimentos, y sobre la omisión en la separación de algunos materiales, pues por sus contenidos o estado pueden contaminar otros residuos recuperables, como es el caso de los envases o empaques de insecticidas, herbicidas entre otros.

Es importante la puntualidad y normal desarrollo de la ruta de reciclaje en los diferentes sectores que ella cubre, pues el incumplimiento podría generar desmotivación en la comunidad, lo cual no es conveniente, en la medida que se está realizando una actividad de compromiso social y local, sumado a la necesidad de aumentar el material recolectado para que este proceso que es ambientalmente viable, lo sea también económicamente.

6.2 SEPARACIÓN

La separación por tipo de polímero debe ser realizada en periodo de tiempos más cortos a los que actualmente se están realizando, ya que una separación semanal o quincenal permitirá un mayor control y conocimiento de las cantidades y tipos de materiales recolectados y susceptibles de recuperación. La separación de los residuos plásticos por polímeros permitirá a su vez moler el material, la cual es una operación importante en la bodega tanto por seguridad como por

disponibilidad de espacios, pues el plástico en su presentación envase es muy voluminoso y su almacenamiento bajo estas condiciones requiere de grandes espacios, con los cuales no se cuentan en la bodega.

La base de datos *Caracterización de los residuos Plásticos* desarrollada en Access 2003 debe actualizarse cada vez que se realice la separación de los residuos plásticos en la bodega, ya que esta permitirá evaluar el cumplimiento de las metas de la alcaldía en cuanto a la recolección de residuos plásticos, a la vez que permitirá establecer el tiempo indicado para el procesamiento de los residuos.

6.3 ALMACENAMIENTO

Los residuos plásticos deberán ser almacenados en lugares donde no sean expuestos al polvo ni a la radiación solar, pues estas condiciones ambientales deterioran las propiedades de los materiales plásticos, ya que la irradiación solar de los polímeros puede generar cambios en su color y propiedades.

6.4 ELIMINACIÓN DE LOS MATERIALES AJENOS O CONTAMINANTES

La eliminación de materiales ajenos a los plásticos como etiquetas, tapas y anillos, debe ser realizada completa y cuidadosamente, pues la incompatibilidad que existen entre algunos materiales, perjudicarían el producto reduciendo sus propiedades ópticas y mecánicas.

6.5 MOLIDO Y AGLUTINADO

El proceso de molienda es de tipo continuo, por lo que se requiere que el personal a cargo de la máquina realice una alimentación en las proporciones y tiempos adecuados, para que así no halla un uso ineficiente de energía, ya que la potencia del motor es grande y su consumo energético por ende es significativo.

6.6 LAVADO Y SECADO

Se recomienda que el diseño de la lavadora sea modificado, dado que al realizar primero el lavado de los plásticos la capacidad de carga por ciclo sería muy baja, pues los envases son muy voluminosos y tienen una relación masa/volumen pequeña, por lo que se requeriría realizar un mayor número de ciclos de lavado, elevando así el consumo de agua y energía. Lo más viable para el proceso es realizar primero el molido del material y seguidamente su lavado.

Una de las modificaciones que se le puede realizar a la lavadora es el realizar un sello hermético de la misma, para que así, esta funcione como una lavadora de

carga superior, lo cual facilitará a su vez la recolección del agua residual del proceso para su posterior disposición.

Por los cortos ciclos de suministro de agua (tres minutos), se sugiere que se realice una automatización del funcionamiento de las válvulas, para que así se pueda controlar el consumo de agua durante esta operación.

6.7 EXTRUSIÓN

La extrusora presenta una alta relación diámetro del tornillo/ longitud (D/L), lo cual para la transformación de ciertas resinas como las poliolefinas no es aconsejable por la posible degradación que pueden sufrir los polímeros, por esto, se recomienda que en las pruebas de arranque se realice extrusión de estos materiales manteniendo algunas de las resistencias de la máquina apagadas, como por ejemplo las primeras, pues el solo efecto de fricción en estas, podría suministrar el calor necesario para el ablandamiento de los materiales.

En la prueba de arranque y calibración de la extrusora se debe realizar una prueba para cada uno de los polímeros para verificar las temperaturas del proceso a lo largo de la extrusora y el estado del producto.

Para el desarrollo de esta etapa se debe realizar un pesaje del material y una alimentación continua de una cantidad constante durante el periodo de prueba, se deberán supervisar las temperaturas y el flujo del material, el cual de funcionar adecuadamente la extrusora será equivalente al flujo de alimentación.

El filtro de la extrusora servirá como un parámetro de evaluación respecto a la calidad del flujo de alimentación, pues permitirá saber si el material procesado presenta o no materiales ajenos a él.

Se recomienda que una vez se obtenga el pellet, se tome una muestra del material y se envíe a un centro de pruebas de materiales plásticos, cuyos procedimientos correspondan a los estándares nacionales para establecer sus propiedades.

En la extrusora se recomienda la adecuación de un sistema de enfriamiento, el cual permite realizar una reducción de la temperatura en las zonas de la extrusora cuando esta sea superior a la establecida, ya que estas se pueden elevar por transferencia excesiva de calor por la resistencia en el arranque de la máquina o por la excesiva generación de calor por parte de los elementos de mezclado presentes en el tornillo de la extrusora. Una opción para el sistema de enfriamiento son los ventiladores, los cuales pueden ser automáticos para que así sean accionados por los controladores de temperaturas que comandan la operación de los calefactores eléctricos.

APÉNDICES

A. TALLER DE CAPACITACIÓN

SELECCIÓN DE LOS RESIDUOS PLASTICOS (CAPACITACIÓN AL PERSONAL DE LA PLANTA)

Trabajo de grado
DIANA MARCELA CERÓN
Director: Carlos César Cabezas
Codirectora: Adriana Sánchez

PLÁSTICOS

Plásticos es una palabra derivada del griego “plastikos” que significa “capaz de ser moldeado”. Técnicamente los plásticos son sustancias de origen orgánico, derivadas del petróleo, que contiene en su estructura carbono e hidrógeno principalmente.

SELECCIÓN

Operación mediante la cual se separan los residuos plásticos por producto (envase, película, etc.) o según el material plástico, acorde con los códigos o por densidad.

POS CONSUMO

Residuos originados en las diferentes actividades de consumo cuando los productos, ya sean plásticos únicos o mezclas de plásticos entre sí o con otros materiales, terminan el periodo de vida útil o pierden su utilidad.

ASPECTO INICIAL DE LOS PLASTICOS

La apariencia de las diferentes clases de plásticos permiten identificar los residuos de acuerdo con su presentación, forma o figura habitual, tales como: opacos, oscuros, transparentes, semiopacos, amarillentos, lechosos, traslúcidos, etc.

TIPOS DE PROCESAMIENTOS DEL MATERIAL PLASTICO

La recuperación de los residuos plásticos, pueden utilizar varias rutas orientadas a recuperar los materiales, tales como:

- Reciclaje mecánico
- Reciclaje químico
- Incineración con o sin recuperación energética

RECICLAJE MECANICO DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS

Es un proceso físico mediante el cual el plástico pos consumo o pos industrial es recuperado permitiendo su posterior utilización como materia prima recuperada o producto terminado.

CODIFICACION SPI

Sistema desarrollado por
“*The Society of the Plastic
Industry*” en los Estados
Unidos.

ESTRUCTURA DE LOS SIMBOLOS

Símbolo universal
del reciclaje



El número y las letras indican la resina usada para la fabricación del respectivo artículo.



APLICACIONES COMUNES

- Envases: transparentes para bebidas gaseosas, aceites, medicamentos, agroquímicos y detergentes líquidos.
- Láminas de PET: Cintas de video y de audio, diskettes.
- Bolsas para horno
- Bandejas para microondas
- Geotextiles (pavimentación / caminos)
- Películas radiográficas.



NOMBRE	Polietileno de Alta Densidad
PROPIEDADES GENERALES	<ul style="list-style-type: none"> ■ No absorbe humedad ■ Alta resistencia al impacto ■ No se rompe al doblarlo ■ Flota en el agua ■ Alta resistencia mecánica, rigidez y dureza
PROPIEDADES FISIOLÓGICAS	<ul style="list-style-type: none"> ■ Inodoro, insípido e indiferente fisiológicamente. ■ Está autorizado su uso para alimentos

APLICACIONES COMUNES

- Envases y empaques: recipientes de uso doméstico, bolsas plásticas de gran resistencia, garrafas, tubos cosméticos.
- Construcción: tubería para agua potable, riego, desagüe, conducción de gas, y calefacción, tubos para instalaciones eléctricas.
- Transporte: contenedores, cajas, estibas.
- Diversos: juguetes, tanques de gasolina, poncheras.





NOMBRE	Policloruro de Vinilo
PROPIEDADES GENERALES	<ul style="list-style-type: none"> ■ Translucido a transparente ■ Se produce a partir de dos materias primas naturales: petróleo o gas 43 % y sal común 57 %. ■ Liviano, Versátil ■ Resistente al fuego: no propaga la llama - autoextinguible ■ Resistente a la intemperie
PROPIEDADES FISIOLÓGICAS	<ul style="list-style-type: none"> ■ Inodoro, insípido e indiferente fisiológicamente. ■ Está autorizado su uso para alimentos

APLICACIONES COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> ■ Envases y empaques: botellas para aceite y agua mineral. ■ Construcción: tuberías de presión, uniones, codos, tuberías para desagüe, persianas, mangueras, láminas para tejado ■ Diversos: suelas de calzado, botas, capas, abrigos impermeables, manteles, bandas transportadoras, guantes de protección laboral.
-----------------------------	--



NOMBRE	Polietileno de baja densidad
PROPIEDADES GENERALES	<ul style="list-style-type: none"> ■ Alta flexibilidad ■ Buena transparencia ■ Flota en el agua
PROPIEDADES FISIOLÓGICAS	<ul style="list-style-type: none"> ■ Indiferente. En la mayoría de casos se ha autorizado el contacto con alimentos

APLICACIONES COMUNES

- Envases y empaques: bolsas de basura, leche, grandes sacos industriales, película destinada al envasamiento automático, recipientes flexibles, cubetas para hielo.
- Agricultura: películas para invernadero y otros cultivos.
- Diversos: tapas flexibles, coextruidos con papel y aluminio, juguetería.



NOMBRE	Polipropileno
PROPIEDADES GENERALES	<ul style="list-style-type: none"> ■ Posee baja permeabilidad al agua ■ Flota en el agua ■ No se afecta por ataque de hongos o bacterias ■ Fácilmente coloreado ■ Resistencia al ataque químico
PROPIEDADES FISIOLÓGICAS	<ul style="list-style-type: none"> ■ Inodoro, insípido e indiferente fisiológicamente. ■ Está autorizado su uso para alimentos

APLICACIONES COMUNES

- Envases y empaques: botellas de cosméticos, drogas, agua mineral, salsas, empaques metalizados para confitería, películas biorientadas para cigarrillos.
- Transporte: garrafones, contenedores, tapas
- Artículos domésticos: vasos, platos, hieleras, contenedores de alimentos
- Diversos: juguetes, jeringas desechables, fibras textiles



NOMBRE	Poliestireno
PROPIEDADES GENERALES	<ul style="list-style-type: none"> ■ Alta rigidez y dureza ■ Alta transparencia ■ Poca absorción de agua ■ Superficie muy brillante ■ Fácil procesamiento ■ Más denso que el agua
PROPIEDADES FISIOLÓGICAS	<ul style="list-style-type: none"> ■ Se utiliza en alimentos dependiendo de la concentración de volátiles



APLICACIONES COMUNES

PC: Discos compactos, cuerpos de cámaras fotográficas, proyectores de diapositivas, bombas para agua, cascos, gafas de protección.

PA: Hilos y filamentos, prótesis médicas, cepillos, hilos redes de pesca.

SAN: Envases de alimentos, productos farmacéuticos, reglas e implementos de dibujos, triángulos de avisos de estacionamiento.

ABS: Carcazas y pulsotes en aparatos de radio, televisores, filmadoras, cámaras fotográficas, teléfonos. Piezas de carrocería, guanteras, carcazas de aspiradoras, maletas, contenedores, perillas.

**PRODUCTOS
TERMINADOS
DE PLASTICO
RECICLADO**



Bolsas Suelas
Comedores para ganado
Tejas plásticas
Chanquetas
Mangueras para riego agrícola

Envases
Grapas
Madera plástica
Corrales plásticos
Postes, pesebreras
Casas campestres





B. FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS



Polímero _____ Encargado _____

FECHA	CODIFICACIÓN		TIPO DE ETIQUETA				COLOR							CANTIDAD	TOTAL
	SI	NO	POL	PAP	IMP	SIN	IN	BL	RO	AZ	AM	V	NE		

Observaciones: _____

CODIFICACION		
PET: Polietileno Tereftalato	PVC: Policloruro de Vinilo	PP: Polipropileno
PEAD: Polietileno de Alta Densidad	PEBD: Polietileno de Baja Densidad	PS: Poliestireno
Otros: ABS, SAN		

ABREVIATURA DE LOS COLORES			
IN: Incoloro	BL: Blanco	RO: Rojo	AZ: Azul
AM: Amarillo	VE: Verde	NE: Negro	

C. PROPIEDADES Y PRINCIPALES APLICACIONES DE LAS
RESINAS PLÁSTICAS

Tabla 22. Parámetros característicos de los polímeros

POLÍMERO	ASPECTO INICIAL	DENSIDAD g/cc	COMBUSTIBILIDAD					ASPECTO FINAL DE LA COMBUSTIÓN
			ARDE	COLOR LLAMA	OLOR HUMO	COLOR HUMO	OTRAS	
1. PET	Blanco lechoso	1.33	Arde en la llama, se apaga en ausencia de llama	Amarilla rojiza	Dulce aromático- olor a fruta	Humos negros	Gotea y arde retirado de la llama	Ceroso Café.
2. PEAD	Sólido opaco	0.94	Arde desprendiendo gotas	Azul punta amarilla	Vela apagada	Blanco Poco denso	Gotea y arde retirado de la llama	Cera derretida
3.PVC	Sólido transparente brillante	1.41	Arde en la llama, se apaga en ausencia de llama	Amarillo con borde verde	Irritante ácido	blanco	No gotea se apaga retirado de la llama	Se carboniza
4. PEBD	Sólido opaco	0.92	Arde desprendiendo gotas	Azul punta amarilla	Vela apagada	Blanco Poco denso	Se hincha y gotea arde retirado de la llama	Cera derretida
5. PP	Sólido translucido	0.91	Arde desprendiendo gotas	Brillante centro azul	Vela apagada	Blanco Poco denso	Se hincha y gotea arde retirado de la llama	Cera derretida
6. PS	Sólido película delgada transparente	1.05	Continúa ardiendo después de encendido	Llama vacilante amarilla	Característico de gas ciudad	Humos negros	Continúa ardiendo después de encendido	Se carboniza
7. PC	Filmes delgados transparentes	1.2	Arde en la llama, se apaga en ausencia de llama	Brillante centro azul	Olor a feno	Humos negros	burbujeante	Se carboniza
7. ABS	Sólido crema brillante	1.03	Continúa ardiendo después de encendido	Amarillo brillante	dulce	Negro con hollín	No gotea arde retirado de la llama	Cera derretida oscura
7. PA	Opacos o transparentes dependiendo del espesor	1.14	Arde en la llama, se apaga en ausencia de llama	Llama naranja de bode azul	Cabello quemado	Humos negros	Funde y gotea	Forma fibra
7. SAN	Transparente con billo superficial	1.08	<i>Continúa ardiendo después de encendido</i>	Arde con llama brillante	Similares al PS irritante	<i>Humos negros y densos</i>	No gotea	Se carboniza

Fuente: ACOPLÁSTICOS. Directorio Colombiano de Reciclaje de Residuos Plásticos 2002-2003. 3 Ed. Bogotá: Ágora. p. 77

Tabla 23. Propiedades y principales aplicaciones de las resinas plásticas.

NOMBRE	POLIETILEN TEREFTALATO	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	POLICLORURO DE VINILO	POLICLORURO DE VINILO (FLEXIBLE)
PROPIEDADES GENERALES	<ul style="list-style-type: none"> § Alta resistencia mecánica § Alta rigidez § Superficie dura, apta para dar brillo § Buena estabilidad dimensional § Magníficas propiedades tribológicas (fricción y desgaste) § Alta resistencia química § Más denso que el agua 	<ul style="list-style-type: none"> § Alta resistencia química § No absorbe humedad § Buenas propiedades eléctricas especialmente su resistencia dieléctrica § Alta resistencia al impacto § No se rompe al doblarlo § Flota en el agua § Alta resistencia mecánica, rigidez y dureza 	<ul style="list-style-type: none"> § Quebradizo a bajas temperaturas § Transparente § Buenas propiedades eléctricas para aplicaciones de voltaje y frecuencias bajas § Alta resistencia a agentes químicos § Autoextinguible al retirarse de la llama § Más denso que el agua 	<ul style="list-style-type: none"> § Flexibilidad ajustable a un amplio margen § Tenacidad muy dependiente de la temperatura § Translucido a transparente § Buenas propiedades eléctricas para aplicaciones de voltaje y frecuencias bajas § Resistencia a los químicos dependiendo de la formulación y temperatura
PROPIEDADES FISIOLÓGICA	Se consideran fisiológicamente inertes	<ul style="list-style-type: none"> § Inodoro, insípido e indiferente fisiológicamente. § Está autorizado su uso para alimentos 	El contenido de monómero es limitado a menor de 1ppm para envasado de alimentos	Sólo algunos plastificantes están autorizados para contacto con alimentos, juguetería o vestuario
APLICACIONES COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> § Envases: transparentes para bebidas gaseosas, aceites, medicamentos, agroquímicos y detergentes líquidos. § Electrodomésticos: carcazas para planchas, asadores, tostadores de pan. § Láminas de PET: Cintas de video y de audio, diskettes. § Maquinaria: piñones, bujes, embragues, accesorios para la industria textil. § Diversos: bisagras, palancas, bolsas para horno, Bandejas para microondas, Geotextiles (pavimentación / caminos), películas radiográficas. 	<ul style="list-style-type: none"> § Envases y empaques: recipientes de uso doméstico, bolsas plásticas de gran resistencia, garrafas, tubos cosméticos. § Construcción: tubería para agua potable, riego, desagüe, conducción de gas, y calefacción, tubos para instalaciones eléctricas. § Transporte: contenedores, cajas, estibas. § Diversos: juguetes, tanques de gasolina, poncheras. 	<ul style="list-style-type: none"> § Envases y empaques: botellas para aceite y agua mineral, copas para yogurt y similares, blisters y envases tipo lámina § Construcción: tuberías de presión, uniones, codos, canales, tuberías para agua desague, agua pluvial, gas y drenaje, perfiles de ventanas, persianas, claraboyas, elementos de fachada, pisos. 	<ul style="list-style-type: none"> § Construcción: juntas de ventanas y puertas, suelo sintético, recubrimiento para pisos, mangueras de jardín, láminas para tejado § Electrotécnica: aislamientos para baja frecuencia, encamisado de cables, enchufes, cinta aislante § Agricultura: mangueras, láminas para silos § Diversos: suelas de calzado, sandalias, botas, capas y abrigos impermeables, tapas de libros, artículos para oficina, balones, manteles, bandas transportadoras, cortinas, hules, láminas autoadhesivas, trajes de protección, guantes de protección laboral.
CODIGO SPI (USA)	1 (PETE)	2 (HDPE)	3 (V)	3 (V)

Fuente: ACOPLÁSTICOS. Directorio Colombiano de Reciclaje de Residuos Plásticos 2002-2003. 3 Ed. Bogotá: Ágora. p 86.

Continuación de la Tabla 23

NOMBRE	POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD	POLIPROPILENO	POLIESTIRENO	POLIESTIRENO EXPANDIDO
PROPIEDADES GENERALES	<ul style="list-style-type: none"> § Alta tenacidad § Alta resistencia al impacto § Facilidad de proceso § Gran resistencia química § Baja permeabilidad al agua § Alta flexibilidad § Buena transparencia § Flota en el agua Buenas propiedades eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> § Posee baja permeabilidad al agua § Flota en el agua § No se afecta por ataque de hongos o bacterias § Fácilmente coloreado y buena resistencia a la fatiga § Resistencia al ataque químico § Buena resistencia eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> § Alta rigidez y dureza § Alta transparencia § Muy buenas propiedades eléctricas y dieléctricas § Poca absorción de agua § Superficie muy brillante § Fácil procesamiento § Resistencia química limitada a productos orgánicos § Más denso que el agua 	<ul style="list-style-type: none"> § Ligero peso § Alta resistencia al calor § Tenacidad a la compresión § Rígido § Se deforma de manera permanente § Alta resistencia al calor § Flota en el agua
PROPIEDADES FISIOLÓGICA	Indiferente. En la mayoría de casos se ha autorizado el contacto con alimentos	<ul style="list-style-type: none"> § Inodoro, insípido § inócuo Está autorizado su uso para alimentos 	se usa en alimentos dependiendo de la concentración de volátiles	se usa en alimentos dependiendo de la concentración de volátiles
APLICACIONES COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> § Envases y empaques: bolsas para depositar residuos, bolsas de leche, grandes sacos industriales, película destinada al envasamiento automático, recipientes flexibles, cubetas para hielo. § Agricultura: películas para invernadero y otros cultivos. § Electrotécnia: aislamiento para cable de telecomunicaciones. § Diversos: tapas flexibles, coextruidos con papel y aluminio, juguetería. 	<ul style="list-style-type: none"> § Envases y empaques: sacos de empaque, botellas de cosméticos, drogas, agua mineral, salsas, empaques metalizados para confitería, películas biorientadas para cigarrillos, snacks, sopas. § Transporte: garraones, contenedores, tapas. § Maquinaria y automoción: conducción de calefacción y refrigeración, carcasas de bombas y ventiladores, tableros automotrices, filtros de aire, parrilla, ventiladores, cajas de batería. § Artículos domésticos: vasos, platos, hieleras, contenedores de alimentos § Diversos: juguetes, jeringas desechables, fibras textiles 	<ul style="list-style-type: none"> § Industria de Envase: envases de gran brillo superficial y transparencia: cosméticos, artículos de consumo, de escritorio, envases de alimentos en porciones, artículos de farmacia, cubiertas transparentes. § Artículos domésticos: vasos, cubiertos, platos desechables, ganchos para ropa, recipientes para el hogar. § Diversos: archivadores y contenedores para el hogar, estuches, jeringas desechables, juguetes, peines, cepillos de dientes, marcos de gafas, bolígrafos, abisos publicitarios. 	<ul style="list-style-type: none"> § Industria de Envase: envases de gran brillo superficial y transparencia: cosméticos, artículos de consumo, de escritorio, envases de alimentos en porciones, artículos de farmacia, cubiertas transparentes. § Artículos domésticos: vasos, cubiertos, platos desechables, ganchos para ropa, recipientes para el hogar. Diversos: archivadores y contenedores para el hogar, estuches, jeringas desechables, juguetes, peines, cepillos de dientes, marcos de gafas, bolígrafos, abisos publicitarios.
CODIGO SPI (USA)	4 (LDPE)	5 (PP)	6 (PS)	6 (PS)

Fuente: ACOPLÁSTICOS. Directorio Colombiano de Reciclaje de Residuos Plásticos 2002-2003. 3 Ed. Bogotá: Ágora. p 86.

Continuación de la Tabla 23

NOMBRE	ACRILONITRILO-BUTADIENO-ESTIRENO ABS	POLIAMIDA NYLON PA	POLICARBONATO PC	ESTIRENO-ACRILONITRILO SAN
PROPIEDADES GENERALES	<ul style="list-style-type: none"> § Alta resistencia y rigidez mecánica § Dureza y resistencia al rayado § Alta estabilidad de forma al calor § Alta resistencia a los cambios bruscos de temperatura § Alta resistencia química § Alta resistencia al impacto § Poca absorción de agua § Debilidad a los efectos de la intemperie 	<ul style="list-style-type: none"> § No flota en el agua § Alta resistencia y rigidez mecánica § Muy buena estabilidad de forma § Resistencia al desgaste y a la fatiga § Buena resistencia química contra solventes, combustibles y lubricantes 	<ul style="list-style-type: none"> § Alta transparencia § Buenas propiedades como aislamiento eléctrico § Resistentes a la intemperie § Resistencia química limitada § Requiere un procesamiento cuidadoso § No flota en el agua 	<ul style="list-style-type: none"> Con respecto al PS § Mayor rigidez y dureza § Mejor resistencia a cambios de temperatura § Mejor resistencia a cambios de temperatura § Mejor resistencia química contra aceites, grasas y aromáticos § Mayor resistencia al agrietamiento por tensiones § Menores propiedades eléctricas como aislante § Mayor absorción de agua § No flota en el agua
PROPIEDADES FISIOLÓGICA	Inocuo	<ul style="list-style-type: none"> § Inodoro § En ciertas circunstancias puede desarrollar algún sabor 	<ul style="list-style-type: none"> § Inodoro e insípido § No irritante § Fisiológicamente inerte 	§ Inocuo
APLICACIONES COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> § Mecánica fina y electrónica: carcasas y pulsadores en aparatos de radio, televisores, videos, filmadoras, cámaras fotográficas, teléfonos, máquinas de oficina, relojes y lámparas. § Automoción: pieza de carrocería, tableros, guanteras § Electrodomésticos: carcasas de aspiradoras, aparatos de cocina § Diversos: maletas. Cascos de seguridad, contenedores, juguetes de piezas de ensambles, perillas, tapas 	<ul style="list-style-type: none"> § Hilos y filamentos § Inyección: perfiles, láminas, tubos § Extrusión: película para empaque § Accesorios para automóvil § Instrumental quirúrgico, prótesis médicas § Carcasas de aparatos, cuerpos de bobinas § Diversos: cepillos, cintas de empaque, hilos redes de pesca, monofilamentos, piezas encajables en juguetes didácticos. 	<ul style="list-style-type: none"> § Electrotecnia: discos compactos, cuerpos de bobinas § Artículos fotográficos: cuerpos de cámaras fotográficas, proyectores de película y diapositivas, cassettes de diapositiva § Maquinaria y mecánica fina: válvulas de control, bombas para agua, aspas de ventilador § Láminas: reemplazo de vidrio en automóviles, objetos soplados como botellones, biberones, ampollitas 	<ul style="list-style-type: none"> § Mecánica fina y electrónica: piezas de carcasas para filmadoras, grabadoras, videos, televisores, radios y máquinas de oficina § Electrodomésticos: vajillas para el hogar, soportes de filtros para cafeteras § Diversos: envases de alimentos, productos farmacéuticos y cosméticos, luces traseras de automóviles, reglas e implementos de dibujo, bolígrafos, triángulos de aviso de estacionamiento.
CODIGO SPI (USA)	7(OTHERS)	7(OTHERS)	7(OTHERS)	7(OTHERS)

Fuente: ACOPLÁSTICOS. Directorio Colombiano de Reciclaje de Residuos Plásticos 2002-2003. 3 Ed. Bogotá: Ágora. p 86.

D. COMPENDIO DE DATOS

POLIETILEN TEREFTALATO (PET)														
FECHA	CODIFICACIÓN (Kg.)		ETIQUETA (Kg.)				COLOR (Kg.)							TOTAL (Kg.)
	SI	NO	Papel	Plástica	Impresa	Sin	Incoloro	Blanco	Rojo	Azul	Amarillo	Verde	Negro	
11/01/2005	23	28	5	39	2	5	48	1	0	0	0	2	0	51
12/01/2005	53	10	20	41	0	2	61	0	0	0	0	2	0	63
13/01/2005	30	9	12	18	1	8	39	0	0	0	0	0	0	39
14/01/2005	16	2	5	8	2	3	16	0	0	0	0	2	0	18
15/01/2005	3	4	4	1	0	2	4	3	0	0	0	0	0	7
18/01/2005	44	6	14	32	0	4	48	0	0	0	0	2	0	50
19/01/2005	52	6	14	37	2	5	55	1	0	0	0	2	0	58
20/01/2005	42	6	11	29	2	6	46	1	1	0	0	0	0	48
07/02/2005	52	9	19	38	0	4	59	0	0	0	0	2	0	61
15/02/2005	63	6	26	38	0	5	65	2	0	0	0	2	0	69
21/02/2005	50	0	15	33	0	2	48	1	0	0	0	1	0	50
28/02/2005	65	2	16	42	0	9	67	0	0	0	0	0	0	67
07/03/2005	52	5	20	33	0	4	57	0	0	0	0	0	0	57
14/03/2005	79	4	22	56	0	5	83	0	0	0	0	0	0	83
22/03/2005	29	2	9	19	0	3	31	0	0	0	0	0	0	31
28/03/2005	41	8	22	24	0	3	45	4	0	0	0	0	0	49
04/04/2005	7	6	0	6	6	1	6	0	0	0	0	7	0	13

POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD)														
FECHA	CODIFICACIÓN (Kg.)		ETIQUETA (Kg.)				COLOR (Kg.)							
	SI	NO	Papel	Plástica	Impresa	Sin	Incoloro	Blanco	Rojo	Azul	Amarillo	Verde	Negro	TOTAL
14/01/2005	47	10	11	35	1	10	10	31	6	7	3	0	0	57
15/01/2005	16	14	12	8	2	8	7	8	2	2	6	2	3	30
18/01/2005	10	4	2	10	0	2	6	6	0	2	0	0	0	14
19/01/2005	26	10	13	13	1	9	6	17	4	3	3	0	3	36
20/01/2005	18	9	8	11	1	7	4	14	5	2	1	1	0	27
07/02/2005	19	5	1	18	1	4	3	13	3	2	2	1	0	24
15/02/2005	28	4	6	22	0	4	10	16	0	6	0	0	0	32
21/02/2005	12	4	0	11	0	5	6	7	3	0	0	0	0	16
28/02/2005	7	2	0	7	0	2	2	5	0	2	0	0	0	9
07/03/2005	13	6	4	11	0	4	7	10	0	2	0	0	0	19
14/03/2005	13	8	8	8	0	5	5	14	0	2	0	0	0	21
22/03/2005	22	9	11	11	1	8	9	9	6	4	3	0	0	31
28/03/2005	37	0	31	5	1	0	0	10	2	0	0	0	25	37
04/04/2005	8	3	5	4	1	1	2	3	0	1	3	2	0	11

POLIPROPILENO (PP)														
FECHA	CODIFICACIÓN (Kg.)		ETIQUETA (Kg.)				COLOR (Kg.)							TOTAL (Kg.)
	SI	NO	Papel	Plástica	Impresa	Sin	Incoloro	Blanco	Rojo	Azul	Amarillo	Verde	Negro	
12/01/2005	8	0	8	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	8
13/01/2005	3	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
14/01/2005	3	0	3	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	3
15/01/2005	7	3	6	4	0	0	8	2	0	0	0	0	0	10
18/01/2005	5	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	5
19/01/2005	6	0	5	1	0	0	6	0	0	0	0	0	0	6
20/01/2005	5	0	3	2	0	0	5	0	0	0	0	0	0	5
07/02/2005	4	0	3	1	0	0	3	1	0	0	0	0	0	4
15/02/2005	7	0	4	3	0	0	6	1	0	0	0	0	0	7
21/02/2005	4	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4
28/02/2005	2	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
07/03/2005	5	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	5
14/03/2005	6	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	6
22/03/2005	3	0	2	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
28/03/2005	3	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
04/04/2005	5	1	2	1	3	0	2	3	0	0	1	0	0	6

POLICLORURO DE VINILO (PVC)														
FECHA	CODIFICACIÓN (Kg.)		ETIQUETA (Kg.)				COLOR (Kg.)							TOTAL (Kg.)
	SI	NO	Papel	Plástica	Impresa	Sin	Incoloro	Blanco	Rojo	Azul	Amarillo	Verde	Negro	
12/01/2005	1	7	3	0	0	5	8	0	0	0	0	0	0	8
15/01/2005	5	4	4	2	0	3	9	0	0	0	0	0	0	9
19/01/2005	2	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
20/01/2005	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
07/02/2005	4	2	4	2	0	0	6	0	0	0	0	0	0	6
15/02/2005	3	3	4	1	0	1	6	0	0	0	0	0	0	6
21/02/2005	2	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
14/03/2005	2	4	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	6
22/03/2005	2	3	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	5
04/04/2005	2	6	4	2	0	2	8	0	0	0	0	0	0	8

POLIESTIRENO (PS)														
FECHA	CODIFICACIÓN (Kg.)		ETIQUETA (Kg.)				COLOR (Kg.)							TOTAL (Kg.)
	SI	NO	Papel	Plástica	Impresa	Sin	Incoloro	Blanco	Rojo	Azul	Amarillo	Verde	Negro	
04/04/2005	1		0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1

MATERIAL NO CARACTERIZADO		
FECHA	MATERIAL	CANTIDAD (Kg)
21/02/2005	Bolsas	44
21/02/2005	Material no separado	27
21/02/2005	Tapas	41
08/04/2005	Bolsas	359
08/04/2005	Material no separado	57
08/04/2005	Tapas	63

E. MANUAL BASE DE DATOS

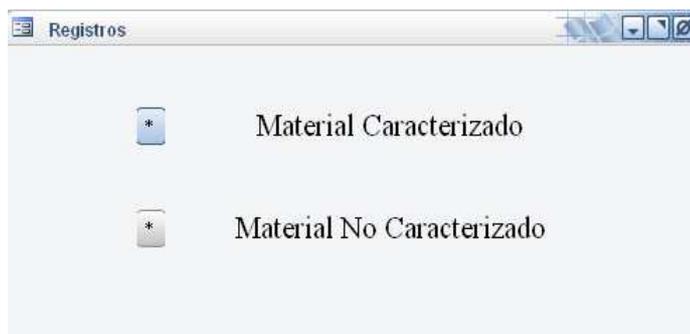
La base de datos creada para el almacenamiento de la información obtenida en la caracterización se llama “Caracterización de los Residuos Plásticos de Popayán”. Esta base de datos creada en el programa Access de Microsoft Office 2003, permite introducir los datos mediante formularios y a su vez la creación de informes y consultas.



Al acceder al programa Access, y abrir la base de datos de los residuos plásticos, la primera vista que se despliega es el *Panel Principal* el cual contiene diferentes opciones de trabajo que son registros, para cuando se quiera almacenar información, Consultas, Acerca de y la opción Salir de la base de datos.

INGRESO DE INFORMACIÓN

Cuando se requiera introducir información, se da clic sobre el botón que aparece al lado derecho de la opción Registro, este lo conducirá hacia la siguiente ventana la cual tiene dos opciones: Registro de Material Caracterizado y la de Material no Caracterizado.



Al dar clic sobre la opción de Material Caracterizado, se despliega la siguiente ventana, la cual contiene un formulario. Siempre presentará primero el registro número uno correspondiente a la primera caracterización, para poder introducir un nuevo registro, se

desplaza hasta el contador de registros que se presenta en la figura con el número 1, da clic sobre la opción ►*, que lo llevará a un registro en blanco, para empezar a introducir información, cada registro permite un único polímero con todas sus propiedades tanto de codificación, color y tipo de etiqueta. El registro debe llenarse ordenadamente, pues no permite introducir información de cualquier forma. Inicialmente se introducirá la fecha, al parar el curso sobre el recuadro de entrada de fecha, le aparecerá la máscara que tiene este campo, la cual es __/__/____ que indica que la fecha debe ingresarse dd/mm/año. Después de ingresar la fecha pasará a introducir el nombre de la persona que realizó la caracterización y finalmente introducirá para los datos principales del encabezado del formulario, la sigla del polímero del cual va a ingresar información.

Material Caracterizado

Fecha: 11/01/2005 Encargado: Diana Marcela Cerón

Polimero: PET

CODIFICACIÓN

Fecha	Polimero	Tipo	Cantidad
▶ 11/01/2005	PET	NO	28
11/01/2005	PET	SI	23
* 11/01/2005	PET		0

Registro: 1 de 2

TIPO DE ETIQUETA

Fecha	Polimero	Etiqueta	Cantidad
▶ 11/01/2005	PET	Impresa	2
11/01/2005	PET	Papel	5
11/01/2005	PET	Polimero	39
11/01/2005	PET	SIN	5
* 11/01/2005	PET		0

Registro: 1 de 4

COLOR

Fecha	Polimero	Color	Cantidad
▶ 11/01/2005	PET	Blanco	1
11/01/2005	PET	Incoloro	48
11/01/2005	PET	Verde	2
* 11/01/2005	PET		0

Registro: 1 de 3

Registro: 1 de 58

Para la selección del polímero se despliega una lista que contiene los materiales poliméricos termoplásticos establecidos en la Sistema de Codificación SPI; al escoger el polímero automáticamente este aparecerá en los primeros registro de los subformularios Codificación, Tipo de etiqueta y Color a la vez que la fecha; su presencia en cada uno de los registros es una guía para quien trabaja en la base de datos.

Los subformularios correspondientes a la Codificación, Tipo de Etiqueta y Color se llenan en el orden que se acaba de presentar, para cada uno ellos solo se requiere introducir dos variables, que son el tipo y la cantidad así:

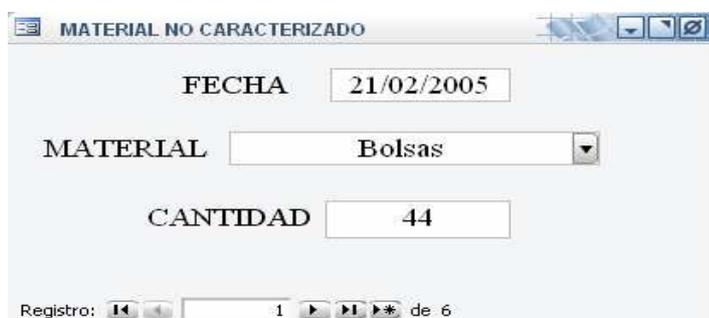
Subformulario Codificación: al parar el cursos en la columna titulada registro y desplegar la ventana aparecerán dos opciones SI y NO, que hacen referencia a si el material está no codificado, la columna siguiente pide introducir la cantidad, la cual sí se hace manualmente. El número máximo de registros en este subformulario son dos, si trata introducir una tercera se le indicará error, por lo cual necesitará cerrar el formulario y volver a empezar.

Subformulario Tipo de Etiqueta: la ventana desplegable de la columna Etiqueta, presenta cuatro opciones que son: impresa, papel, polímero y sin, de las cuales se escogerán las que hallan sido presentadas en los envases de los polímeros caracterizados. La cantidad se introduce en su respectiva casilla y se pasa finalmente al subformulario Color.

Subformulario Color: los registros de esta categoría se realiza igualmente mediante el despliegue y selección de una de la o las opciones pertinentes con el tipo de polímero y la variación de coloraciones encontradas en el material caracterizado, presenta seis opciones que son amarillo, azul, blanco incoloro, negro y verde. La columna correspondiente a las cantidades se llena manualmente.

El formulario está diseñado de tal manera que no se permita modificación de los registros una vez introducidos, por lo que para no bloquear el programa se debe siempre estar seguro de haber pasado hacia el nuevo registro, igualmente durante la entrada de información a cada uno de los formularios el programa le indicará error si usted está tratando de introducir por más de una vez en un mismo registro de un subformulario una misma categoría tal como el mismo color o tipo de etiqueta o tipo o presencia de la codificación.

Cuando se requiera almacenar información del material no caracterizado al que corresponden las bolsas, el material no separado y las tapas, entonces se da clic sobre la opción en la ventana Registros, con lo que se presentará el siguiente formulario:



Las tres variables o datos pedidos en este formulario son fecha, material para cuya elección se cuenta igualmente con una ventana desplegable y la cantidad.

Para introducir datos en este se procede de la misma manera que en el formulario de

material Caracterizado, mediante el desplazamiento a un nuevo registro dando clic sobre ►*.

CONSULTAS DEL PANEL PRINCIPAL

Para realizar consultas sobre las cantidades y tipos de polímeros caracterizados en un día o el acumulado de los mismos durante todo el tiempo de caracterización se da clic sobre el comando Consultas del Panel Principal, el cual llevará a la siguiente ventana:

The screenshot shows a window titled "Particulares: Formulario". It is divided into two main sections: "Consulta para una fecha específica" on the left and "Consultas Generales" on the right. Under "Consulta para una fecha específica", there are three rows, each with a search icon and a label: "Codificación", "Etiqueta", and "Color". Under "Consultas Generales", there are three rows: "Polimero" with a dropdown menu and a "TOTAL" button; "Material" with a dropdown menu and a "TOTAL" button; and "Polimeros por fechas(dd/mm/aa)" with a date input field and a "TOTAL" button. Below these sections is a horizontal line, followed by the heading "Informes". At the bottom, there are two buttons: "Material no caracterizado" and "Material caracterizado", each with a search icon.

La cual presenta tres posibilidades que son consultas para una fecha específica y consultas generales e informes.

Las consultas de fecha específica son tan sólo para los residuos plásticos caracterizados, de los materiales agrupados en la opción de no caracterizados se omitió esta posibilidad, pues su pesaje es generalmente esporádico y según decida la administración de la bodega se podría suspender, por lo cual se omitió esta posibilidad.

The screenshot shows a window titled "Codificación". It contains a label "FECHA (mm/dd/aaaa):" followed by a date input field and a button labeled "Abrir formulario".

Para cada uno de ellos al dar clic sobre el link que aparece al margen izquierdo se va a la siguiente ventana, a la cual tan sólo se requiere introducir la fecha de un día de selección de los residuos plásticos y presentará la siguiente ventana:

	Fecha	Polimero	Tipo	Cantidad
▶	28/03/2005	PEAD	SI	37
	28/03/2005	PET	NO	8
	28/03/2005	PET	SI	41
	28/03/2005	PP	SI	3
*				0

Registro: 1 de 4 (Filtrado)

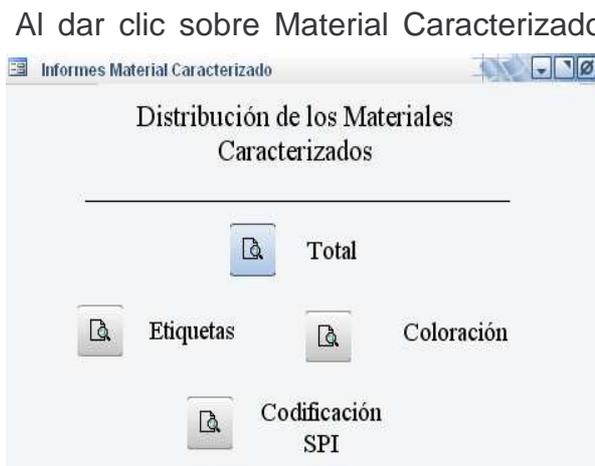
Esta presenta los polímeros caracterizados en el día especificado, y las diferentes cantidades para cada uno de ellos en función de la característica que se desea conocer.

Las consultas generales se realizan mediante la selección del tipo de polímero o material no caracterizado al desplegar la ventana de las respectivas celdas que acompañan a polímero y material y seleccionar alguno de ellos, lo que presenta la información para cada uno de ellos así:

Total	
POLIMERO	PET
Cantidad	814

Registro: 1 de 1 (Filtrado)

Los informes generados en Access se presentan en una nueva ventana a la cual se accede dando clic sobre el respectivo botón que puede llevar a los informes del Material Caracterizado o a los de materiales no caracterizados.



Al dar clic sobre Material Caracterizado se presenta un nuevo panel con cinco opciones tal como lo presenta el siguiente gráfico, del cual solo resta escoger el que se desea ver, los informes presentan la información procesada total correspondiente a toda la información almacenada.

Al escoger cualquiera de ellos se presenta informes como el que se presenta a continuación los cuales pueden ser directamente impresos.

Los informes se actualizan automáticamente, después de ingresada la información

Residuos Plásticos Caracterizados

<i>Polímero</i>	<i>Cantidad (Kg.)</i>
<i>PEAD</i>	364
Estándar	<i>27,74%</i>
<i>PET</i>	814
Estándar	<i>62,04%</i>
<i>PP</i>	80
Estándar	<i>6,10%</i>
<i>PS</i>	1
Estándar	<i>0,08%</i>
<i>PVC</i>	53
Estándar	<i>4,04%</i>
<i>Suma total</i>	<i>1312</i>

F. VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DURANTE
EL DESARROLLO DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE LOS
RESIDUOS PLÁSTICOS

Tabla 24. Valoración de impactos- acondicionamiento de residuos plásticos

Etapa		Recolección	Selección y Clasificación	Eliminación de Materiales Ajenos	Trozado, molido y/o aglutinado	Lavado	Secado	Peletizado
Residuo	Medio afectado	Ninguno	Resinas plásticas no recuperables o altamente contaminadas	Papel, Cartón, Vidrio, Textiles, Metales, Madera	Olor, ruido	Aguas residuales con sólidos sedimentables, Carga orgánica	Vapor de agua, Olores, Ruido	Producto defectuos o
	Calidad del aire	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo
Atmósfera	Ruido	Nulo	Nulo	Nulo	Alto	Nulo	Alto	Bajo
	Olores	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Moderado	Muy bajo	Moderado	Muy bajo
Agua	Superficial	Muy bajo	Nulo	Muy alto	Nulo	Muy alto	Nulo	Muy bajo
	Subterráneas	Muy bajo	Nulo	Bajo	Nulo	Moderado	Nulo	Nulo
Suelo	Uso del suelo	Moderado	Bajo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo
	Invasión del espacio público	Alto	Moderado	Bajo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo
Efectos sobre la salud	Enfermedades de la piel	Moderado	Bajo	Bajo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo
	Enfermedades auditivas	Nulo	Nulo	Nulo	Moderado	Nulo	Bajo	Bajo

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Guías Ambientales sector Plásticos: Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Bogotá, 2004.

Tabla 25. Matriz de Manejo Ambiental – Acondicionamiento de Residuos Plásticos.

Etapa	Recurso Afectado	Impacto Ambiental	Medidas Preventivas	Medidas de Control	Medidas de mitigación
RECOLECCIÓN	Agua	No genera impacto alto			
	Aire	Emisiones de gases de camiones mal sincronizados	Exigir el transporte de residuos plásticos en camiones en buen estado mecánico	Revisar el estado mecánico de los camiones	Advertir a los operarios sobre las exigencias ambientales
	Suelo	Invasión del espacio público por almacenamiento de materia prima o producto terminado. Contaminación visual	Recoger el material que se esparce durante el cargue y descargue de camiones, impedir que los residuos plásticos se coloquen en la vía pública o en zonas diferentes al centro de acopio	Establecer sitios de especiales en el centro de acopio. Capacitar el recurso humano	Disposición en rellenos sanitarios
	Flora y fauna	Generan la proliferación de roedores, insectos, microflora y microfauna	Establecer sistemas de pretratamiento y tratamiento primario para la disposición de residuos en las zonas sucias de la planta. Control de plagas	Establecer sistemas de control y monitoreo. Establecer impacto de las medidas de control y mitigación.	Establecer zonas de menor probabilidad de crecimiento de flora y fauna indeseada para el acopio de residuos plásticos
	Salud	Conflictos por uso del suelo. Riesgo de accidentes por malas condiciones de los camiones y por la manipulación de los residuos plásticos	Delimitación de zonas de propiedad privada del Centro de Acopio par la disposición de residuos. Mantenimiento de camiones y vehículos transporte. Uso de protección personal (guantes, gafas, overol, etc.)	Capacitación de personal. Exigir vehículos de transporte en buen estado. Exigir uso de guantes, gagas y overol	Asesorar a los operarios y transportadores en riesgos que se enfrentan al trabajo en caminen en mal estado y sin el adecuado uso de equipos de protección personal.

ETAPA	Recurso Afectado	Impacto Ambiental	Medidas Preventivas	Medidas de Control	Medidas de mitigación
SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN	Agua	No genera un impacto alto			
	Aire	Emisión de olores por materiales en descomposición o de otra sustancia presente en el residuo plástico	Uso de zonas con buena ventilación, uso de extractores	Uso de equipos de protección respiratoria	Disminución en la jornada de trabajo en las zonas con altos olores a través de la rotación de operarios a otras zonas con menor olor
	Suelo	Invasión del espacio público	Dilimitar adecuadamente las zonas de selección y clasificación al interior del centro de acopio	Verificar que la selección se realice en la zona demarcada por tal fin	
	Flora y fauna	No genera impacto alto			
	Salud	Riesgo de heridas corto punzantes por manipular residuos plásticos	Uso de protección personal (guante, tapabocas, gafas, overol, etc.)	Exigir uso de guante, tapabocas, gafas, overol.	Asesorar a los operarios y transportadores en riesgos que se enfrentan al trabajar si nel adecuado uso de equipos de protección personal
ELIMINACIÓN DE MATERIALES AJENOS	Agua	No genera un impacto alto			
	Aire	Emisión de olores por material en descomposición o de otra sustancia presente en el residuo plástico	Uso de zonas con buena ventilación, uso de extractores	Usos de equipos de protección respiratoria	Disminución en la jornada de trabajo en las zonas de altos olores a través de la rotación de operarios a otras zonas con menor olor.
	Suelo	Invasión del espacio público con los residuos eliminados (madera, papel, cartón, vidrio, metal)	Delimitar adecuadamente las zonas de eliminación de materiales ajenos al interior del centro de acopio.	Verificar que la eliminación se realiza en las zonas demarcadas para tal fin.	
	Flora y fauna	No genera un impacto alto			
	Salud	Riesgo de heridas	Uso de protección	Exigir uso de	Asesorar a los operarios y

ETAPA	Recurso Afectado	Impacto Ambiental	Medidas Preventivas	Medidas de Control	Medidas de mitigación
		corto punzantes por manipular residuos plásticos mezclados con otros materiales	personal (guantes, tapabocas, gafas, overol, etc.)	guantes, tapabocas, gafas y overol.	transportadores en riesgos que se enfrentan al trabajar si el adecuado uso de equipos de protección personal.
TROZADO AGLUTINADO MOLIDO	Agua	No genera un impacto alto			
	Aire	Emisión de olores por material en descomposición o de otra sustancia presente en el residuo plástico. Altos niveles de presión sonora	Uso de zonas con buena ventilación, uso de extractores		Instalación de sistemas de tratamiento de ruido (barreras acústicas, absorción y/o aislamiento acústico). Reducción de la jornada de trabajo en ambientes ruidosos mediante la rotación de operarios a otras áreas con menor ruido y olor.
	Suelo	No genera un impacto alto			
	Flora y fauna	No genera un impacto alto			
	Salud	Altos niveles de presión sonora que afecta a la comunidad vecina.	Aislamiento de la zona de aglutinado	Determinar la afectación a la comunidad cercana del ruido generado	Instalación de sistemas de tratamiento de ruido (barreras acústicas, absorción y/o aislamiento acústico)
LAVADO	Agua	Vertimientos con alta carga orgánica, contenido de grasas y aceites y alto contenido de sólidos	Lavado de plásticos en sitio de generación. Separar el plástico que este contaminado con sustancias de interés sanitario (plaguicidas, herbicidas, etc.). Evaluar el sistema de lavado del plástico aglutinado, recirculación de aguas de enfriamiento, reutilización de las aguas de lavado previamente tratadas.	Ensayos de caracterización de calidad de agua. Separación de redes de vertimientos.	Instalación de rejillas, implementación de trampas de grasas. Tratamiento de aguas residuales.

ETAPA	Recurso Afectado	Impacto Ambiental	Medidas Preventivas	Medidas de Control	Medidas de mitigación
	Aire	No genera un impacto alto			
	Suelo	No genera un impacto alto			
	Flora y fauna	No genera un impacto alto			
	Salud	Uso indebido y derroche de recursos naturales	Determinar la cantidad de agua necesaria para el lavado de residuos plásticos.	Control del uso de agua en la limpieza del residuo plástico.	
SECADO	Agua	No genera un impacto alto			
	Aire	Emisión de olores por materia en descomposición o de otra sustancia presente en el residuo plástico. Altos niveles de presión sonora.	Uso de zonas con buena ventilación, uso de extractores.	Determinar los niveles de presión sonora. Uso de equipos de protección respiratoria y auditiva.	Instalación de sistemas de tratamiento de ruido (barreras acústicas, absorción y/o aislamiento acústico). Reducción de la jornada de trabajo en ambientes ruidosos mediante la rotación de operarios a otras áreas con menor ruido y olor.
	Suelo	No genera un impacto alto			
	Flora y fauna	No genera un impacto alto			
	Salud			Determinar la afectación a la comunidad cercana del ruido generado.	Instalación de sistemas de tratamiento de ruido (barreras acústicas, absorción y/o aislamiento acústico)
PELETIZADO	Agua	No genera un impacto alto			

ETAPA	Recurso Afectado	Impacto Ambiental	Medidas Preventivas	Medidas de Control	Medidas de mitigación
	Aire	Emisión de olores. Altos niveles de emisiones sonoras.	Uso de zonas con buena ventilación, uso de extractores.	Determinar los niveles de presión sonora. Uso de equipos de protección respiratoria y auditiva.	Instalación de sistemas de tratamiento de ruido (barreras acústicas, absorción y/o aislamiento acústico). Reducción de la jornada de trabajo en ambientes ruidosos mediante la rotación de operarios a otras áreas con menor ruido y olor.
	Suelo	No genera un impacto alto			
	Flora y fauna	No genera un impacto alto			
	Salud	Altos niveles de presión sonora que afectan a la comunidad vecina.	Aislamiento de la zona de peletizado	Determinar la afectación a la comunidad cercana por el ruido generado	Instalación de sistemas de tratamiento de ruido (barreras acústicas, absorción y/o aislamiento acústico)

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Guías Ambientales sector Plásticos: Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Bogotá, 2004.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACOPLÁSTICOS. Plásticos en Colombia 2004-2005. XXXIV Ed. Bogotá: Acoplásticos, 2004. 249 p.
2. ACOPLÁSTICOS. Directorio Colombiano de Reciclaje de Residuos Plásticos 2002-2003. 3 Ed. Bogotá: Ágora. 94p.
3. ACOPLÁSTICOS. Manual del Reciclador de Residuos Plásticos. 1a. Ed. Bogotá: Ágora, 1999. 58 p.
4. ALCALDÍA DE POPAYÁN. Proyecto de términos de referencia para la adquisición de los equipos para el tratamiento y aprovechamiento de residuos inorgánicos en el relleno sanitario El Ojito del municipio de Popayán. Popayán, 2003.
5. ALVAREZ, María E., PÉREZ R., Diego. Hidráulica: Ayudas de Diseño. Popayán, 2003
6. ASOCIACIÓN DE CIUDADES Y REGIONES PARA EL RECICLAJE ACRR. Guía de Buenas Prácticas para el Reciclaje de los Residuos Plásticos: Una Guía por y para las Autoridades Locales y Regionales.
7. CONSORCIO TEMPORAL INÉS FERNANDA CAICEDO-PH. Caracterización física de los residuos sólidos de la ciudad de Popayán. 2003. 54p.
8. COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Guías Ambientales sector Plásticos: Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Bogotá, 2004. 140p.
9. GNAUCK, B. Frundt. Iniciación a la Química de los Plásticos, 3ra. Ed. Barcelona: Hanser. 1989.
10. MUÑOZ, Alberto. Residuos Sólidos Plásticos: Tratamiento y Reciclado. Madrid: Centro Internacional de Formación de ciencias. 1980.

11. NELLY, John. Materiales y Procesos de Manufactura, 1ra. Ed, Editorial Limusa, 1992.
12. PLASTICSEUROPE. An analysis of plastics consumption and recovery in Western Europe 2002 & 2003. <http://www.plasticseurope.org/>
13. PLASTIVIDA. Residuos plásticos: su aprovechamiento como necesidad. En Boletín Técnico Informativo N° 2,”. Argentina, 1993.
14. PLASTIVIDA. Plásticos: su Origen y su Relación con el Medio Ambiente. En boletín Técnico Informativo N°3. Argentina, 1994.
15. REPUBLICA DE COLOMBIA. Decreto Número 1713 de 2002. Reglamenta la Ley 42 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.
16. RICHARDSON & LOKENSGARD. Industria del Plástico, 1ra. Ed. Madrid: Thomson, 2003. 584p.
17. RUBIN I. Materiales Plásticos: Propiedades y Aplicaciones, 1a. Ed. México: Limusa, 1999. 235p.
18. SERRANO, Carlos. El reciclaje de plásticos en la Unión Europea. En Revista tecnológica del Plástico – versión digital. Noviembre, 2005.
19. (-----). Reciclaje por ley. En Revista tecnológica del Plástico – versión digital. Abril, 1998.
20. (-----). Tendencias de desarrollo en la industria plástica. En Revista tecnológica del Plástico – versión digital. Septiembre, 2005.
21. TCHOBANOGLOUS, George. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Volumen I. Madrid: McGraw-Hill, 1994.

1. ACOPLÁSTICOS. Plásticos en Colombia 2004-2005. XXXIV Ed. Bogotá: Acoplásticos, 2004.
2. ACOPLÁSTICOS. Directorio Colombiano de Reciclaje de Residuos Plásticos 2002-2003. 3 Ed. Bogotá: Ágora.
3. ACOPLÁSTICOS. Manual del Reciclador de Residuos Plásticos. 1a. Ed. Bogotá: Ágora, 1999.
4. ALCALDÍA DE POPAYÁN. Proyecto de términos de referencia para la adquisición de los equipos para el tratamiento y aprovechamiento de residuos inorgánicos en el relleno sanitario El Ojito del municipio de Popayán. Popayán, 2003.
5. ALVAREZ, María E., PÉREZ R., Diego. Hidráulica: Ayudas de Diseño. Popayán, 2003
6. ASOCIACIÓN DE CIUDADES Y REGIONES PARA EL RECICLAJE ACRR. Guía de Buenas Prácticas para el Reciclaje de los Residuos Plásticos: Una Guía por y para las Autoridades Locales y Regionales.

7. CONSORCIO TEMPORAL INÉS FERNANDA CAICEDO-PH. Caracterización física de los residuos sólidos de la ciudad de Popayán. 2003.
8. COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Guías Ambientales sector Plásticos: Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Bogotá, 2004.
9. GNAUCH, B. Frundt. Iniciación a la Química de los Plásticos, 3ra. Ed. Barcelona: Hanser. 1989.
10. MUÑOZ, Alberto. Residuos Sólidos Plásticos: Tratamiento y Reciclado. Madrid: Centro Internacional de Formación de ciencias. 1980.
11. NELLY, John. Materiales y Procesos de Manufactura, 1ra. Ed, Editorial Limusa, 1992.
12. PLASTICSEUROPE. An analysis of plastics consumption and recovery in Western Europe 2002 & 2003. <http://www.plasticseurope.org/>
13. PLASTIVIDA. Residuos plásticos: su aprovechamiento como necesidad. En Boletín Técnico Informativo N° 2, ". Argentina, 1994
14. PLASTIVIDA. Plásticos: su Origen y su Relación con el Medio Ambiente. En boletín Técnico Informativo N°3. Argentina, 1994.

15. REPUBLICA DE COLOMBIA. Decreto Número 1713 de 2002. Reglamenta la Ley 42 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.
16. RICHARDSON & LOKENSGARD. Industria del Plástico, 1ra. Ed. Madrid: Thomson, 2003.
17. RUBIN I. Materiales Plásticos: Propiedades y Aplicaciones, 1a. Ed. México: Limusa, 1999.
18. SERRANO, Carlos. El reciclaje de plásticos en la Unión Europea. En Revista tecnológica del Plástico – versión digital. Noviembre, 2005.
19. SERRANO, Carlos. Reciclaje por ley. En Revista tecnológica del Plástico – versión digital. Abril, 1998.
20. SERRANO, Carlos. Tendencias de desarrollo en la industria plástica. En Revista tecnológica del Plástico – versión digital. Septiembre, 2005.
21. TCHOBANOGLIOUS, George. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Volumen I. Madrid: McGraw-Hill, 1994.