

POTENCIALIDADES DEL EMPLEO DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Autor: Carlos Enrique Aragón Suárez

Tutora: MSc. Ing. Eunices Soler Sánchez (Profesora Asistente)

Consultante: MSc. Ing. Maile Boza Regueira (Profesora Auxiliar)

HOLGUÍN, 2021



Pensamiento

“El Plástico no es un problema, es lo que hacemos con él”

Erik Solheim



Dedicatoria

- ✓ A mi madre, por apoyarme y guiarme en todo momento.
- ✓ A mi esposa, por estar siempre a mi lado.
- ✓ En especial a mi padre, aunque no esté presente fue el que me enseñó todo lo que sé, y es el ejemplo que siempre tengo presente a seguir.



Agradecimientos

- ✓ Quiero agradecer especialmente a mi familia por su constante guía y apoyo incondicional.
- ✓ Al claustro de profesores que me formó en el transcurso de toda la carrera, especialmente a Carlos Negrón, María Urbina, los de la especialidad de ingeniería Civil y a mi tutora Eunices.
- ✓ A todos mis compañeros con los que he compartido este arduo y gratificante proceso de formación profesional.
- ✓ A mis vecinos y amigos que siempre han estado presentes brindándome su sincera ayuda.

A todos, muchas gracias.



RESUMEN

Los plásticos son considerados como el material del siglo XXI. Se plantea que aproximadamente 280 millones de toneladas son producidas anualmente en el mundo, de las cuales entre 4,8 y 12,7 millones de toneladas acaban cada año en los océanos, lo que provoca un daño sin precedentes al medio ambiente. Varias son las acciones para mitigar este impacto negativo. Una de ellas es la de emplearlos en la construcción de viales, los cuales demandan altos volúmenes de material natural. Es por ello que el presente trabajo se centra en valorizar las potencialidades del uso de los residuos plásticos en la fabricación de mezclas asfálticas en el municipio Holguín. A partir de la aplicación de métodos de investigación teórico, empírico y estadístico se pudo apreciar que, de acuerdo a los resultados de investigaciones, los residuos de polietileno de alta densidad (PEAD) y/o polietileno tereftalato (PET) mejoran las características técnicas de las mezclas asfálticas. Al tener en cuenta lo antes expuesto se estudia la posibilidad de emplearlos en sustitución por parte del agregado fino para la conformación de mezclas asfálticas en el municipio, a partir de la disponibilidad de estos residuos en la provincia. Con dosificaciones de sustitución de PEAD y PET por árido fino entre el 1,0% y el 3,0% (con respecto al peso total de los áridos) se puede ahorrar entre 5m³ y 15m³ de material natural y por ende se minora el volumen de estos residuos de difícil degradación, aportando así una solución al cuidado del medio ambiente.

Para las referencias y asentamientos bibliográficos en la tesis fue asumida la norma de la Asociación Americana de Psicología (APA).



ABSTRACT

Plastics are considered the material of the 21st century. It is proposed that approximately 280 million tons are produced annually in the world, of which between 4.8 and 12.7 million tons end up each year in the oceans, causing unprecedented damage to the environment. There are several actions to mitigate this negative impact. One of them is to use them in the construction of roads, which demand high volumes of natural material. That is why the present work focuses on valuing the potential of the use of plastic waste in the manufacture of asphalt mixtures in the Holguín municipality. From the application of theoretical, empirical and statistical research methods, it was observed that according to the research results, high-density polyethylene (HDPE) and / or polyethylene terephthalate (PET) residues improve the technical characteristics of the asphalt mixes. Taking into account the aforementioned, the possibility of using them as a substitute for part of the fine aggregate for the formation of asphalt mixtures in the municipality is studied, based on the availability of these wastes in the province. With substitution dosages of HDPE and PET for fine aggregate between 1.0% and 3.0% (with respect to the total weight of the aggregates), between 5m³ and 15m³ of natural material can be saved and therefore the volume is reduced of these residues of difficult degradation, thus providing a solution to the care of the environment.

For the references and bibliographic settlements in the thesis, the norm of the American Psychological Association (APA) was assumed.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DEL USO DEL PLÁSTICO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS.....	13
1.1 Estructura del pavimento. Clasificación y caracterización.....	13
1.1.1 Especificaciones de los materiales para la conformación de las capas del pavimento.....	16
1.1.2 Mezclas asfálticas.....	22
1.2 Plásticos, caracterización y clasificación	25
1.2.1 Ciclo de vida de los residuos plásticos.....	32
1.2.2 Experiencias del empleo de residuos plásticos en la construcción de carreteras	38
Conclusiones parciales.....	46
CAPÍTULO 2 ESTUDIO TEÓRICO PARA LA VALORIZACIÓN DE LAS POTENCIALIDADES DEL USO DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS.....	47
2.1 Estado actual de las vías en el municipio de Holguín	48
2.2 Caracterización del ciclo de vida de los residuos plásticos en el municipio Holguín.....	50
2.3 Análisis del proceso de fabricación de las mezclas asfálticas en caliente en la provincia	57
2.4 Análisis de los resultados.....	61
Conclusiones parciales.....	66
CONCLUSIONES GENERALES	68
RECOMENDACIONES.....	69
Anexos	
Bibliografía	



INTRODUCCIÓN

El último siglo se caracteriza por el alto consumo de la sociedad y la poca conciencia con respecto al cuidado del medio ambiente. Entre los materiales de mayor uso en la actualidad, se encuentran los plásticos, que han venido sustituyendo a la cerámica, vidrio, metales, madera, etc., por su versatilidad de poderse emplear para la creación de diferentes artículos. La desventaja de este material es que, al estar compuestos por derivados del petróleo y algunos químicos, el mismo tarda hasta decenas de años en descomponerse, por tanto, genera problemas graves, sin precedentes en la ecología.

Se plantea que aproximadamente 280 millones de toneladas de plástico son producidas anualmente en todo el mundo. Sin embargo, en los últimos años esta producción ha aumentado considerablemente, alcanzando en el 2016 una cifra de 335 millones de toneladas. Estudios recientes estiman que entre 4,8 y 12,7 millones de toneladas de este material acaban cada año en los mares y océanos de todo el mundo. (Íñiguez, M., 2019, p48)

La industria de la construcción es una de las que más daña al medio ambiente, por la explotación de recursos naturales no renovables para la conformación de nuevos materiales como bloques, ladrillos, losas de piso, etc. Así como la utilización directa para la conformación de las explanadas, siendo las de los viales las de mayor consumo. Además, la extracción y procesado de materias primas es a través de la explotación de canteras en la corteza terrestre, donde se modifica la topografía, se pierden los suelos, etc. En el proceso de producción o fabricación de los materiales existe una gran demanda de energía por lo que el consumo de combustibles derivados del petróleo es enorme.

Aunque la realización de obras de infraestructura en todo el mundo, ha impulsado el crecimiento de pueblos, ciudades y países, este sector es responsable de una importante fuente de residuos y contaminación para el aire, suelo y el agua. Según datos del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente UNEP y la



Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, el entorno edificado, representa un consumo de energía del 25 al 40%, una carga de residuos sólidos del 30 al 40% y una carga de emisión de gases de efecto invernadero del 30 al 40% del total generados a nivel mundial (Huedo, P., 2014, p25).

Varios han sido los estudios y acciones para mitigar el impacto ambiental. Ejemplo de ello es la fabricación de automóviles eléctricos, a pesar de que al principio generan daño al medio por la fabricación de baterías de Litio, con el tiempo la contaminación es menor, comparadas con las provocadas por los gases tóxicos emitidos por vehículos de combustión. Además, cada vez más se emplean plantas eléctricas con energía renovables como el sol, agua y viento, para así no depender de los recursos naturales como el petróleo.

La industria de la construcción no se queda atrás en la toma de decisión de emplear residuos industriales para obtener los mismos materiales con igual o incluso mejor resultados de calidad, mitigando de esta forma el impacto negativo que generan las construcciones al medio ambiente y por otra parte ayuda al mismo en tratar de eliminar los altos volúmenes de los diferentes residuos que pueden volver a ser utilizados, como los escombros de las mismas construcciones, residuos de las escorias de la acería que se han empleado para morteros en la sustitución de árido fino en las mezclas asfálticas, en las fabricación de bloques, pisos, adoquines, etc. También los plásticos han ido sustituyendo al hierro, fundamentalmente en la producción de tuberías para instalaciones sanitarias, eléctricas, acueductos y alcantarillados, entre otros. En menor medida se ha venido incorporando en las construcciones viales, donde surgen ideas innovadoras de infraestructura en el área de urbanismo sostenible para hacer frente al problema de la explotación de recursos naturales y/o cuidado del medio ambiente y que permite optimizar las propiedades de los pavimentos.

En Cuba los trabajos de construcción y reparación de los viales cada vez se hacen más complejo, debido a que las mezclas asfálticas necesitan de betunes que es un



derivado del petróleo hace que sean caras y que esta actividad no se realice en periodos necesarios para que los viales estén en su mejor estado, es por ello que en la actualidad se percibe a nivel nacional un gran deterioro de los mismos. Entonces, se trabaja en buscar alternativas para mejorar esta situación, como han sido investigaciones que han demostrado que la incorporación de residuos industriales como las escorias blancas y negras generadas en la empresa AXINOC en las tunas y un % de residuos de neumáticos demostraron que son factibles puesto que las mezclan mejoran sus propiedades.

Por lo antes expuesto de que el plástico puede ser una alternativa de un material reciclado para incorporar como material en construcciones viales, cabe preguntarse si: ¿Serán los residuos plásticos un material alternativo a emplear en la construcción de carreteras en el municipio Holguín? Siendo esta interrogante el **problema** en que se enmarca la presente investigación. A partir de la misma se identifican las mezclas asfálticas como el **objeto de la investigación**. Se puede inferir como **campo de la investigación**: estudio de mezclas asfálticas modificadas con residuos plásticos. Se define como **objetivo general**: valorizar las potencialidades del uso de residuos plásticos en la fabricación de mezclas asfálticas en el municipio Holguín. Del objetivo general se proponen los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar el análisis del estado del arte sobre la utilización de los residuos plásticos en la construcción de carreteras.
2. Valorizar las potencialidades de los residuos plásticos en la construcción de carreteras en el municipio Holguín.

Se declara como **hipótesis de la investigación**: por experiencias de los resultados de investigaciones antecedentes del empleo de los residuos plásticos en la fabricación de mezclas asfálticas, se puede valorizar la potencialidad del uso de estos residuos en la conformación de mezclas asfálticas en el municipio de Holguín. Para la adecuada ejecución de la investigación se utilizaron diferentes métodos, entre los cuales se pueden encontrar:



Métodos teóricos:

- Histórico-lógico: para conocer el análisis histórico de la utilización del plástico como material para la construcción de carreteras.
- Hipotético-deductivo: para realizar una propuesta de hipótesis acorde a la investigación.
- Análisis - síntesis: para el análisis de la información procedente de la caracterización histórica, teórico – metodológica y empírica del objeto y campo de la investigación.

Métodos empíricos:

- Análisis documental: para determinar los fundamentos teóricos y metodológicos que sustentan la utilización del plástico como material para la construcción.
- Observación científica: para realizar el trabajo de campo, con el objetivo de determinar el estado actual de la generación de residuos de plástico en la ciudad de Holguín y sus implicaciones ambientales.
- Entrevistas y encuestas: para la caracterización empírica del objeto y el campo.

Métodos matemáticos y estadísticos:

- Método estadístico descriptivo: para realizar la gestión, recepción, procesamiento, representación e interpretación las informaciones derivadas del diagnóstico del objeto y campo de la investigación.
- Método estadístico matemático: para interpretar y analizar los resultados obtenidos.
- Triangulación de datos: se utiliza en la fase exploratoria y en la investigativa para recoger datos de diferentes fuentes, contrastarlos y realizar una valoración convergente o una comprensión más global del campo de investigación.



FACULTAD DE INGENIERIA
DPTO. DE CONSTRUCCIONES

Se aportan propuestas de alternativas para la construcción de carreteras. La novedad consiste en el empleo del plástico triturado como material alternativo en el diseño de mezclas asfálticas.

El presente trabajo de diploma tiene actualidad por la pertinencia del tema para las empresas constructoras y por la necesidad de minimizar en la provincia de Holguín el uso de áridos de origen natural para la construcción de carreteras, al promover la intensificación de reciclaje de residuos plásticos. Además, responde a las líneas de investigación asumidas por el departamento de construcciones de la Facultad de Ingeniería, como son: Innovación para el desarrollo sostenible. También, responde al área del conocimiento, asumidas en el departamento para la gestión de la ciencia y la innovación tecnológica: gestión de la producción y comercialización de los materiales de la construcción y la gestión de desechos sólidos y biomasa, respecto a los proyectos de investigación que se desarrollan en el departamento: gestión integral de los residuos sólidos urbanos.

El trabajo de diploma se estructura en introducción y dos capítulos. En el primer capítulo se hace una caracterización histórica, teórico-metodológica de la utilización del plástico como material de construcción, específicamente en la fabricación de carreteras. En el segundo se muestra el proceder para lograr las propuestas de alternativas necesarias, a partir de la argumentación teórica para la producción de los mismos. Se muestran las conclusiones generales, bibliografías y los anexos que se utilizan para enriquecer la investigación.

CAPÍTULO 1. MARCO TEORICO REFERENCIAL DEL USO DE LOS RESIDUOS PLASTICOS EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS.

Introducción al capítulo.

En este capítulo se abordan las temáticas, referente a la estructuración de los pavimentos, las características que deben cumplir los materiales para la conformación de las mezclas asfálticas según la NC 253:2005. Además, se hace referencia al empleo de residuos para la utilización en la construcción, fundamentalmente los de polímeros en la fabricación de carreteras. Pues estas obras son las que mayor demanda de material natural para su ejecución. De manera que se busca alternativa para mitigar el impacto negativo que conlleva la explotación de canteras y la exposición de los residuos, como los plásticos, que son de lenta degradación. Las carreteras en Cuba se encuentran en muy mal estado y podría valorarse el empleo de este material residual para la conformación de la capa de rodadura de acuerdo a al cumplimiento o mejora de los parámetros técnicos que deben cumplir las mezclas asfálticas.

1.1 Estructura del pavimento. Clasificación y caracterización.

El pavimento es una estructura encargada de asegurar el tránsito vehicular satisfactoriamente en toda época del año y durante todo el período de diseño, independientemente de las condiciones de humedad existentes en la explanación. Esta estructura debe ser tal que los esfuerzos que sobre ella se generan, sean soportados sin deformaciones apreciables en las diferentes capas de materiales que se utilizan en su construcción y las tensiones que se transmitan a la explanación (terraplén), sean inferiores a su capacidad soportante, sin originar deformaciones apreciables. (Orta, P., 2008, p27)

La capa superior de la superestructura se subdivide en: pavimentos flexibles, rígidos y los denominados semirrígidos como son los de adoquines, ya que no se comportan ante las cargas como ninguno de los dos tipos básicos antes mencionados.



- Los pavimentos flexibles

Son aquellos que tienen la capacidad de adaptación a pequeños asentamientos diferenciales que pueden experimentarse en la explanación, sin que se agrieten, mantienen su integridad estructural y capacidad de transmisión de cargas.

Poseen como características que están compuestos por tres capas diferentes: la superficial, la de base y de subbase. La calidad de los materiales componentes de cada capa es decreciente en la profundidad, acorde con la distribución normal de tensiones verticales que impone el tráfico. La capacidad estructural de los pavimentos flexibles dependerá de la capacidad de distribución de las cargas en cada capa componente y de la capacidad resistente o portante de la subrasante (*California Bearing Ratio*: CBR de diseño).

Capa de superficie

Es la que está en contacto directo con los neumáticos o ruedas de los vehículos, por lo que debe ser la más rígida y poseer la mayor resistencia y calidad. Generalmente está conformada por dos capas:

1. Capa de rodadura o desgaste, de pequeño espesor (entre 3,0 y 5,0 cm). Conformada generalmente por hormigón asfáltico caliente (H.A.C.) denso, con mayor presencia de árido fino.
2. Capa intermedia, de mayor espesor (entre 5,0 y 7,0 cm) compuesta también por H.A.C. semidenso, con áridos de mayor granulometría.

Capa de base

Es la conformada generalmente por materiales pétreos triturados de alto poder soportante, unidos por aglomerantes asfálticos o hidráulicamente. Está ubicada debajo de la capa de superficie, tiene la función de resistir y transmitir las cargas de la superficie hacia la subbase.



Capa de subbase

Generalmente está compuesta por suelos granulares seleccionados (de préstamos o bancos de materiales) de baja plasticidad y resistente a la humedad (preferiblemente los A-1 hasta los A-3, según la clasificación de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes, AASHTO por sus siglas en inglés) debidamente compactados, se encuentra entre las capas base y la subrasante de la explanación. La misma permite transmitir las cargas desde la capa que le antecede hasta la siguiente, lo que significa la reducción del espesor de la base y por consiguiente en la disminución del costo total de la estructura del pavimento. Pueden emplearse materiales naturales seleccionados, suelos estabilizados con cemento, cal, materiales asfálticos u otras sustancias.

- Los pavimentos rígidos

Son aquellos que su capacidad estructural depende de la elevada rigidez de una losa construida con hormigón hidráulico, la cual es capaz de distribuir las cargas del tráfico en una superficie o área suficientemente grande para lograr que las tensiones verticales transmitidas hacia la subbase del pavimento posean valores muy pequeños, por lo que existe una diferencia esencial con los pavimentos flexibles donde la resistencia de la explanación desempeña un rol fundamental, no admitiéndose la aparición de grietas en la losa, por lo que la resistencia a flexión de la losa es muy importante asegurarla.

Poseen dos capas:

1. La losa de hormigón hidráulico (concreto).
2. Capa de base (algunos autores la denominan: “subbase”).

Este tipo de pavimento permite que el tránsito pueda circular directamente sobre la losa de hormigón hidráulico, dadas las características de este material. Generalmente se emplean hormigones de mediana y alta resistencia a compresión.



Capa de base:

Aunque desde el punto de vista meramente estructural esta capa no es imprescindible en el funcionamiento de este tipo de pavimentos, sí resulta necesario su uso para que cumpla las hipótesis de cálculo de las losas de hormigón, pues la capa de base garantiza:

1. Un apoyo estable y la necesaria uniformidad en el apoyo de la losa.
2. Evitan la surgencia o bombeo (pumping), es decir, la salida del material fino a través de las juntas entre los diferentes tramos de losas.
3. Garantizan la necesaria resistencia contra la humedad cuando se construyen sobre suelos finos. Generalmente éstas se construyen con materiales granulares seleccionados (A-1 hasta A-3) o estabilizados con cemento, cal o asfalto.
4. Disminución, aunque no significativa, del espesor total de la losa.

(Orta, P., 2008, p 28-31)

Los materiales para la conformación de cada tipo de pavimento deben cumplir con ciertas especificaciones, aspectos que serán tratados en el siguiente sub epígrafe.

1.1.1 Especificaciones de los materiales para la conformación de las capas del pavimento.

Los materiales se determinan para la selección de la estructura más adecuada técnica y económicamente.

- Áridos naturales

Los áridos naturales son los habituales en la técnica de carreteras. Se extraen en yacimientos (arenosos, graveras, etc.) de origen fluvial, eólico o marino y en canteras. En este caso, los áridos siempre son el resultado de un proceso de trituración o machaqueo. Los áridos procedentes de yacimientos pueden emplearse como se encuentran en los mismos (áridos rodados) o tras ser sometidos también a un proceso total o parcial de machaqueo.



Entre los más empleados se encuentran los calizos. Generalmente se pueden encontrar en todas las capas del pavimento, exceptuándose únicamente su empleo como árido grueso en capas de rodaduras, pues es una roca fácilmente pulimentable, con tráfico intenso lo que puede dar lugar a superficies deslizantes en un período corto de tiempo.

Los áridos silíceos procedentes del machaqueo de gravas naturales es otro material que puede ser utilizado en todas las capas. Pueden tener poca adhesividad con contenido de sílice y de caras de fractura, sus características mecánicas y su rozamiento interno proporcionan un esqueleto mineral bueno para utilizarlo incluso en mezclas bituminosas sometidas a la acción directa del tráfico.

También pueden mencionarse los provenientes de rocas ígneas y metamórficas, que son especialmente adecuadas para emplearlas como árido grueso en capa de rodadura, tanto en mezclas bituminosas como en tratamientos superficiales. Sus cualidades de resistencia al pulimento los hacen idóneos para garantizar la textura superficial necesaria en un período de tiempo prolongado, incluso con tráficos intensos.

- Áridos artificiales y marginales

Proceden de procesos industriales, los cuales son un subproducto de un tratamiento industrial de áridos naturales, de demoliciones o del reciclado de pavimentos existentes. Con estos se pretende conseguir características especiales para capas de rodadura, en particular una elevada resistencia al deslizamiento.

Entre las características más importantes de estos áridos se encuentran:

1. Resistencia al desgaste de los áridos: la resistencia mecánica del esqueleto mineral, es un factor predominante en la evaluación del comportamiento de una capa asfáltica después de su puesta en servicio.
2. Limpieza y adhesividad: es fundamental que los áridos estén limpios para cualquier uso en mezclas. Esto significa que la superficie de las partículas ha de estar exenta de polvo, suciedad, arcilla u otras materias extrañas. Si los



áridos están sucios, la capa asfáltica puede resultar sensible a la acción del agua. Por otro lado, según la naturaleza de las partículas contaminadas, pueden aparecer problemas de adhesividad con los ligantes hidrocarbonados.

3. Pulimento: la resistencia al pulimento de las partículas de un árido, es decir, la resistencia a perder aspereza en su textura superficial, tiene gran importancia desde el punto de vista de la resistencia al deslizamiento cuando dichas partículas van a ser empleadas en capas de rodadura asfálticas o en acabados de pavimento de hormigón. (Coll, M., 2003. p12-14)

- Asfalto

Es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido, a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente se ablanda y se vuelve líquido, lo que permite cubrir completamente a los áridos durante la producción de la mezcla caliente.

Proporciona una buena unión y cohesión entre agregados, incrementando por ello la resistencia con la adición de espesores relativamente pequeños. Capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos.

El asfalto es un excelente material impermeabilizante, y no es afectado por los ácidos. Cambia cuando es calentado y/o envejecido, tiendo a volverse duro y frágil, y a perder la capacidad de adhesión. Estos cambios pueden ser minimizados si se toman medidas durante la construcción para retardar el proceso de envejecimiento.

Tipos de ligante asfáltico

1. Cementos asfálticos: ligante denso que a temperatura ambiente es semisólido, usualmente pegajoso y de color variable entre café muy oscuro y negro. Se prepara comercialmente en cinco grados de consistencia definidos con base en el ensayo de penetración. El grado más empleado en los pavimentos asfálticos corrientes es el AC 85- 100.

2. Asfaltos líquidos: son también denominados asfaltos rebajados o cutbacks, son materiales asfálticos de consistencia blanda o fluida por lo que se salen del campo en el que normalmente se aplica el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300. Se producen diluyendo cemento asfáltico en algún solvente de petróleo. Pueden ser de curado lento (SC) cuyo solvente puede ser del tipo Fuel-oil; de curado medio (MC) cuyo solvente es el kerosene; y de curado rápido (RC), donde el solvente es generalmente la gasolina.
3. Emulsiones asfálticas: son dispersiones en agua de glóbulos asfálticos de dos a cinco micrones de diámetro, que se mantiene estables en presencia de un agente emulsificante. (Cuadrado, C., 2016, p14-15)

Especificaciones de calidad de la materia prima según la norma cubana (NC 253:2005)

- Árido grueso

Conjunto de piedras que queda retenido en el tamiz No.4, procederán del machaqueo, trituración y clasificación de piedra de cantera o grava natural, se aproximan a la forma cúbica, tendrán aristas definidas y superficie rugosa, estarán limpios, poseerán adecuada afinidad con el asfalto, serán resistentes, de uniformidad razonable y estarán exentos de arcilla u otras materias extrañas. En el caso de áridos redondeados que se sometan a un proceso de trituración, se exige que aquellos retenidos en el tamiz No.4 tendrán al menos el 75% en peso con dos o más caras de fractura.

- Árido fino

Conjunto de material que pasan el tamiz No.4. Son arenas procedentes del machaqueo (polvo de piedra) o una mezcla de ésta con arena natural; el proyecto de mezcla definirá el porcentaje máximo de arena natural a emplear en la mezcla, deben ser granos limpios, sólidos, resistentes, de uniformidad razonable, exentos de arcilla y de materias extrañas o nocivas.

El árido fino que procederá de machaqueo se obtendrá de materiales cuyo valor de desgaste cumpla con las condiciones exigidas al árido grueso.

- Relleno o polvo mineral (Filler)

Material que pasa el tamiz No.200. El filler de aportación se compone de partículas muy finas de caliza dura con más del 70% de CO₃Ca, cemento Portland, cal apagada, polvo fino de escorias, cenizas volantes de naturaleza adecuada (producto de quemar carbón pulverizado o puzolana Artificial) u otro material mineral aprobado de naturaleza no plástica. (NC 253: 2005, p8)

- Ligante asfáltico:

Según las exigencias climatológicas, de proyecto y/o topográficas se podrán emplear los betunes 40/50, 60/70 y el 50/70 de producción nacional, los cuales deben cumplir con los siguientes aspectos:

1. No producirán espumas calentados a 100°C.
2. El contenido en peso de parafina no excederá el 2%. (NC 253: 2 005, p12)

En las tablas 1.1 y 1.2 se muestran los requisitos según la NC 253:2005, que deben cumplir los materiales para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente (HAC).

Tabla 1.1. Requerimientos granulométricos de los áridos para HAC.

(mm)	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#50	#100	#200
37.5 - 19	100	90 - 100	20 - 25	0 - 15	-	0 - 5						
37.5 - 4.75	100	95 - 100	-	35 - 70	-	10 - 30	0 - 5					
25 - 12.5		100	90 - 100	20 - 55	0 - 10	0 - 5						
25 - 9.5		100	90 - 100	40 - 85	10 - 40	0 - 15	0 - 5					
25 - 4.75		100	95 - 100	-	25 - 60	-	0 - 10	0 - 5				
19 - 9.5			100	90 - 100	20 - 55	0 - 15	0 - 5	-				
19 - 4.75			100	90 - 100	-	20 - 55	0 - 10	0 - 5				
19 - 2.36			100	90 - 100	-	30 - 65	5 - 25	0 - 10	0 - 5			
12.5 - 4.75				100	90 - 100	40 - 70	0 - 15	0 - 5	-			
12.5 - 2.36				100	90 - 100	40 - 75	5 - 25	0 - 10	0 - 5			
9.5 - 2.36					100	85 - 100	10 - 30	0 - 10	0 - 5			
9.5 - 1.18					100	90 - 100	20 - 55	5 - 30	0 - 10	0 - 5		
4.75 - 1.18						100	85 - 100	10 - 40	0 - 10	0 - 5		
4.75 - 0.074						100	85 - 100	-	-	-	10 - 30	5 - 20

uente: NC 253: 2005, p9.

Tabla 1.2: Parámetros de control de calidad del ligante.

Parámetro	Unidad	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Penetración	mm/10	40	50	50	70	60	70
Ductilidad	cm	100	-	100	-	100	-
Pto. Ablandamiento	°C	52	60	51	58	50	58
Pto. Inflamación	°C	230	-	230	-	230	-
Peso específico	g/cm ³	1	-	1	-	1	-
Solubilidad en tricloroetileno	%	99.5	-	99.5	-	99.5	-
Índice de penetración	-	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Pérdida x calentamiento en película delgada	%	-	0.5	-	0.5	-	0.5
Penetración retenida	%	75	-	75	-	70	-
Incremento Pto. de ablandamiento A/B	°C	-	8	-	10	-	10

Fuente: NC 253: 2005, p13.

1.1.2 Mezclas asfálticas.

Las mezclas asfálticas se pueden clasificar por diferentes criterios.

Fracciones del agregado pétreo empleado.

1. Masilla asfáltica: polvo mineral más ligante.
2. Mortero asfáltico: agregado fino más masilla.
3. Concreto asfáltico: agregado grueso más mortero.
4. Macadam asfáltico: agregado grueso más ligante asfáltico.

Temperatura de puesta en obra.

1. Mezclas asfálticas en caliente: se fabrican con asfaltos a altas temperaturas, alrededor de los 150°C, según la viscosidad del ligante, los agregados también se calientan para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. Para que estos materiales puedan extenderse y compactarse adecuadamente la puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la del ambiente.
2. Mezclas asfálticas en frío: son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente. Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación, incluso durante



semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo período de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado.

Proporción de vacíos de la mezcla.

1. Mezclas densas o cerradas: la proporción de vacíos no supera el 6%.
2. Mezclas semidensas o semicerradas: la proporción de vacíos está entre el 6% y el 10%.
3. Mezclas abiertas: la proporción de vacíos supera el 12%.
4. Mezclas porosas lo drenantes: la proporción de vacíos es superior al 20%.

Tamaño máximo del agregado pétreo.

1. Mezclas gruesas: el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10mm.
2. Mezclas finas: formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico.

Estructura del agregado pétreo.

1. Mezclas con esqueleto mineral: poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno es notable.
2. Mezclas sin esqueleto mineral: no poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla.

Granulometría.

- Mezclas continuas: tienen una granulometría continua en los agregados pétreos.
- Mezclas discontinuas: tienen una granulometría limitada en los agregados pétreos. (Cuadrado, C., 2016, p25-26)

Diseño de las mezclas.

Para la dosificación de los materiales de las mezclas asfálticas pueden emplearse diferentes procedimientos. Según Orta (2008), en Cuba se emplea el Marshall, que es un método empírico, donde se emplea cemento asfáltico como ligante y el



FACULTAD DE INGENIERIA
DPTO. DE CONSTRUCCIONES

tamaño máximo de los áridos utilizados debe ser menor de 25,4mm. A continuación, se muestra un resumen de este método.

Método Marshall

Esta técnica consiste en la elaboración de una serie de probetas normalizadas (63.5±3.2 mm de altura y 101.6±0.25 mm de diámetro), con diferentes porcentajes de asfalto (los porcentos aumentan por medios), las cuales son compactadas con un dispositivo especial (equipo Marshall), la intensidad de compactación depende del tipo de mezcla que se desea preparar:

- Tráfico ligero: 50 golpes por cara.
- Tráfico medio-pesado: 75 golpes por cara. (NC 261:2005)

La finalidad de esta técnica es obtener el contenido óptimo de asfalto en la mezcla a partir de varios ensayos:

- Estabilidad contra el porcentaje de asfalto.
- Densidad contra el porcentaje de asfalto.
- Vacíos en la mezcla contra el porcentaje de asfalto.
- Vacíos en los áridos contra el porcentaje de asfalto.
- Deformación contra el porcentaje de asfalto.

Una vez obtenidos los resultados de las pruebas anteriores se grafican. El contenido óptimo de asfalto (COA) se obtiene a partir de la ecuación 1.1:

$$COA = \frac{P1+P2+P3+P4}{4} \quad (1.1)$$

Donde:

P1: % de asfalto que ofrece mayor estabilidad

P2: % de asfalto que ofrece mayor densidad

P3: % de asfalto para el valor medio de vacíos en la mezcla

P4: % de asfalto para el valor medio de vacíos en los áridos

Con este valor antes expuesto, se retorna a los gráficos conformados de cada uno de los ensayos y se definen los valores que se esperan nuevamente de los ensayos



de estabilidad, deformación, vacíos en la mezcla y vacíos en los áridos. Estos resultados se comparan con las especificaciones, de no cumplir las normativas, se modifican las proporciones y se comienza el proceso nuevamente. A continuación, se muestra la tabla 1.3 donde se muestran las especificaciones que debe cumplir la calidad de la mezcla según los parámetros que se analizan por el método Marshall. (NC 54-223:90)

Tabla 1.3 Especificaciones de las mezclas asfálticas, método Marshall.

Ensayo Marshall	Estabilidad (kg)	Deformación (mm)	% Vacío en la mezcla	% Vacío en los áridos
Especificación NC 54-223	>900	2-4	3-5	>13

Fuente: NC 261: 2005, p24

Este método puede emplearse tanto para el diseño, como para el control en obra de mezclas asfálticas, ya que los resultados de los ensayos que se analizan son de indispensables para la durabilidad y buen funcionamiento de los pavimentos.

Los plásticos, al igual que el asfalto, son derivados del petróleo. De esta similitud viene la idea de la posibilidad de emplearlos para la conformación de mezclas asfálticas con la doble finalidad de mantener o mejorar los parámetros antes mencionados y minimizar el impacto negativo de este residuo al medio ambiente.

El siguiente epígrafe aborda el tema de la clasificación, caracterización de los plásticos, así como el tratamiento de los residuos de este material y uso en la construcción en la rama de la construcción, específicamente en carreteras.

1.2 Plásticos, caracterización y clasificación.

Los plásticos hacen más de 100 años que existen y su uso se ha extendido y ha permitido el desarrollo de muchas industrias, pues se han convertido en el sustituto de otros materiales como: la madera, el vidrio, el metal y la cerámica. Técnicamente, los mismos son sustancias de origen orgánico formados por largas cadenas macromoleculares que contienen en su estructura carbono e hidrógeno

principalmente. Se obtienen mediante reacciones químicas entre diferentes materias primas de origen sintético o natural.

Este material pertenece a la familia de los polímeros, de los que se derivan otros productos como recubrimientos, pinturas y adhesivos. Un polímero es una molécula de gran tamaño molecular, constituida por pequeñas cadenas de unidades, iguales o diferentes llamados monómeros, que se pueden obtener directamente de algunos vegetales y animales o a partir de productos derivados del petróleo.

En general el término plástico abarca una amplia variedad de sustancias, y es posible distinguirlas a través de su estructura, composición y propiedades específicas las cuales inciden en la dureza, la flexibilidad y la tenacidad y dependen precisamente de la composición química, independientemente de que existen propiedades generales que son comunes para la gran mayoría de los plásticos como:

- Densidad

Suelen ser bajas, son materiales de construcción ligeros, es por eso que suelen ser parte de otros materiales como segmentos de estructuras. Ejemplo: cubiertas de invernaderos, piezas de aviones y automóviles etc.

- Ductilidad y maleabilidad

Se adecua a las diferentes técnicas de configuración y permiten ser moldeados fácilmente. La transformación de estos materiales no resulta complicada, ya que se realizan a temperaturas bajas y requieren relativamente poca energía.

Impermeabilidad

Poseen una gran resistencia al agua, por lo tanto, suelen ser utilizados en la fabricación de prendas de vestir.

- Flexibilidad

Son flexibles, por sus altos módulos de elasticidad, esta propiedad es una ventaja para la fabricación y la aplicación.

- Resistencia al impacto



Algunos de los plásticos, al compararlos con otros materiales como el vidrio, presentan muy buena resistencia al impacto, es decir, que no se fracturan con facilidad, pero si tienen muy poca resistencia al rayado.

- Aislamiento térmico, acústico y eléctrico

Poseen buena capacidad de aislamiento, no solamente a la corriente eléctrica, sino también a las temperaturas. Suelen utilizarse en la elaboración de productos electrónicos y algunos electrodomésticos como por ejemplo las neveras. Su conductividad es mala en relación con otros materiales como los metales, ya que no tienen en su composición electrodos libres que son los responsables del transporte de calor y la corriente.

Los plásticos contienen como elemento principal el carbono, que al combinarse con otros elementos como: el oxígeno, hidrógeno y el nitrógeno, pueden ser moldeados para adquirir determinadas formas y conservarla permanentemente. Son sustancias polimerizadas: es decir, que se obtienen de las mezclas de sustancias químicas y siendo transformadas por medio del calor y la presión. (Mónico, M., 2 014, p34-37)

Clasificación de los plásticos

Los plásticos se pueden encontrar en tres grandes grupos, de acuerdo a las propiedades que presenta el producto final (Mónico, M., 2 014, p39-42). En la figura 1.1 se muestra un breve resumen.



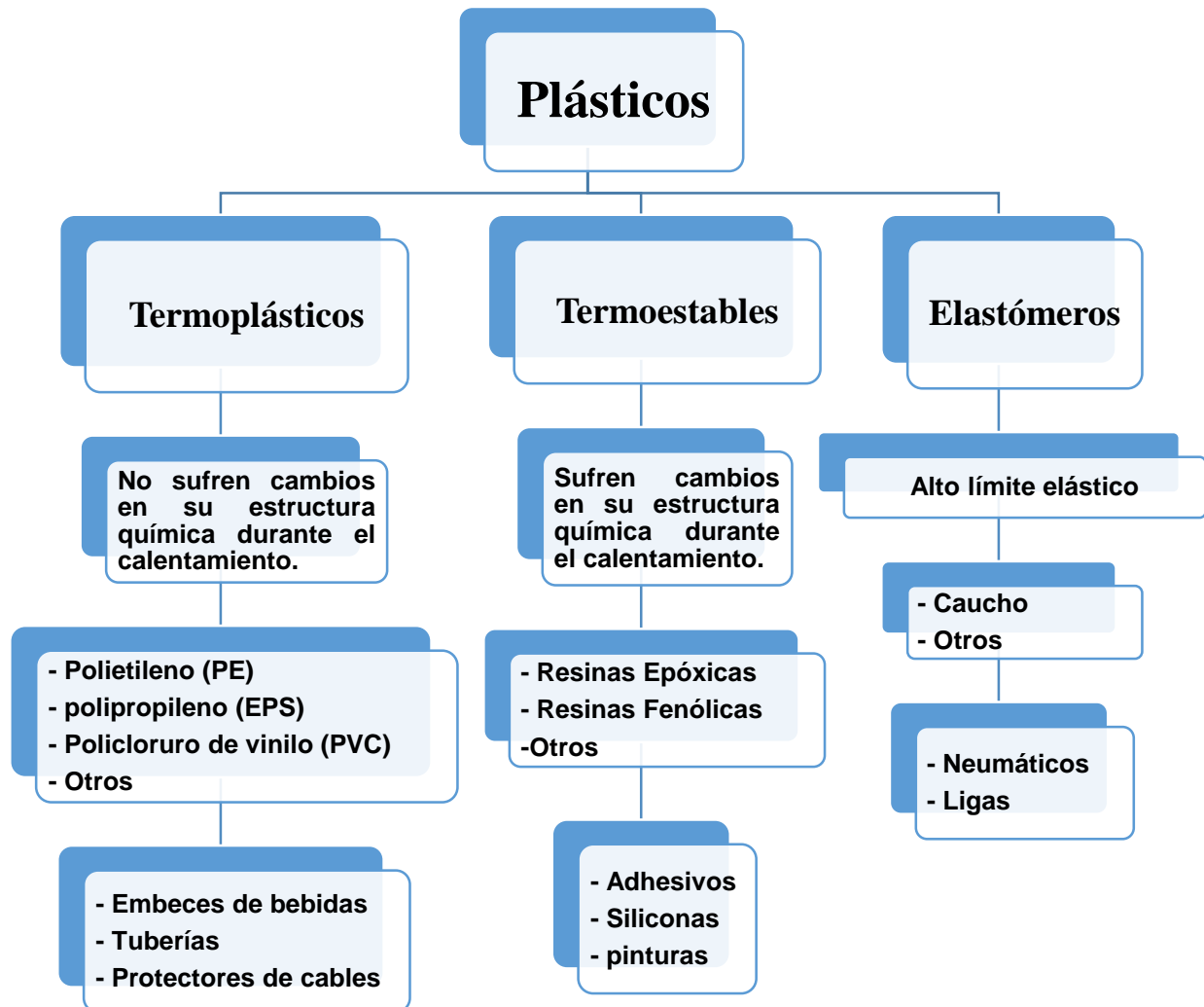


Figura 1.1 Tipos de plásticos. Fuente: Elaboración propia.

- Los termoplásticos

Son aquellos que no sufren cambios en su estructura química durante el calentamiento. Se calientan y moldean las veces que sean necesarias, sin embargo, el material va perdiendo sus propiedades, por lo que no resulta tan apropiado este tipo de reutilización. Su rigidez puede pasar por diferentes estados: duros, frágiles o tenaces. A modo de subgrupo se pueden encontrar los plásticos amorfos, que su principal característica es su transparencia, debido a su organización molecular. Algunos plásticos que forman parte de esta clasificación son:

- Polietileno tereftalato (PET): es un termoplástico de cadena lineal, su principal utilización es en envases de bebidas carbonatadas, también es altamente utilizado en la fabricación de fibras textiles, pueden ser procesado mediante termoconformado, inyección, extrusión o soplado.
- Polietileno (PE): es el polímero más utilizado, se obtiene de la polimerización del etileno, en cuanto a sus propiedades, varían según su peso molecular. En dependencia de cuál sea su proceso de elaboración, se puede obtener polietileno de alta densidad (PEAD) que comúnmente se emplea en la fabricación de bolsas y películas protectoras para la agricultura. Y el polietileno de baja densidad (PEBD), se emplea en la elaboración de productos de bazar, como cajones de gaseosa y frutas, envases para productos de limpieza, etc.
- Policloruro de vinilo (PVC): se obtiene de la polimerización del acetileno con ácido clorhídrico. Es un material muy económico, resistente a los ácidos, transparente e incoloro. Es un polímero que su uso está determinado a partir de la combinación de aditivos, ya que dependiendo de éstos y de su proceso de vitrificación pueden llegar a ser más resistentes a las condiciones ambientales. Se emplea mayormente en la fabricación de tuberías rígidas que son utilizadas en la construcción, o en formas más flexibles para la fabricación de láminas, aislamientos de cables eléctricos, mangueras, guantes, etc. La desventaja de mismo radica en que al ser incinerado libera dioxinas, sustancias tóxicas para el medio ambiente y cancerígenas para el ser humano, sobre todo en la fabricación de envases, es por eso que se trata de reemplazar por otros plásticos que no perjudiquen esos aspectos.
- Polipropileno (PP): es el polímero con mayor utilización en el proceso de moldeo por inyección, se le suele comparar con el (PE) por el costo, y poseen propiedades similares, aunque tiene mayor resistencia y menor flexibilidad que el (PE). Se obtiene de la polimerización del propileno. Su mayor uso está



en la fabricación de contenedores moldeados para alimentos congelados que se pueden calentar después en el mismo contenedor, recipientes para cafeteras, jeringas médicas, difusores de luz, partes moldeadas por inyección para automóviles y aparatos domésticos.

- Poliestireno (EPS): es derivado del estireno, posee ligereza, resistencia a la humedad, absorción a los golpes. Se utiliza para hacer formas o bloques de espuma de baja densidad, para protección en el embalaje, aislamiento acústico, térmicos en paredes y techos, su cualidad más destacada es que es higiénico, ya que no alberga microorganismos.
- Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) es un plástico muy resistente al impacto (golpes) muy utilizado en automoción y otros usos tanto industriales como domésticos.
- Los termoestables

Son macromoléculas, formadas a través de cadenas entrelazada, las cuales al elevar su temperatura se compactan más, lo que hacen que el polímero sea más resistente hasta el punto en que se degrada. Son aquellos que en su proceso de moldeo sufren un cambio químico de polimerización, y una vez transformados por la acción del calor, no pueden modificar su forma, por lo tanto, no son moldeables plásticamente como los termoplásticos.

Este tipo de materiales son las resinas epoxídicas: que poseen buena combinación de propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión, tienen muy buena adherencia, son económicos y tienen excelentes propiedades eléctricas, su mayor uso se encuentra en la fabricación de recubrimientos protectores, enchufes y adhesivos.

Otro grupo de las resinas son las fenólicas; que tienen buena estabilidad térmica, es apto para formar materiales compuestos con muchas resinas, material de relleno entre otras. Su aplicación se encuentra en la fabricación de carcasas de motores, teléfonos y accesorios eléctricos.

También se encuentran las siliconas; que también poseen muy buenas propiedades eléctricas, químicamente inerte, pero vulnerable al vapor y excelente resistencia al calor, se emplea en la fabricación de láminas y cintas aislantes a elevadas temperaturas.

Por último, se encuentran los poliuretanos, normalmente se presentan en forma de espuma rígida, es utilizado en la fabricación de aislamientos térmicos para viviendas, se usa en la elaboración de colchones, embalajes, pinturas, ruedas de patines, y se encuentran presente como copolímero en las fibras textiles como la Lycra.

- Elastómeros

Están constituidos por moléculas muy largas entre sí, distribuidas sin ningún orden, debido a que tienen pocos puntos de entrecruzamiento. Son débiles y por ello evitan el deslizamiento, pero a su vez poseen buena flexibilidad, son insolubles e infusibles. Estos polímeros tienen como ventaja además que, al torcerlos, comprimirlos o estirarlos, se deforman, pero al retirar la acción de la fuerza, retornan a su estado original.

Los primeros elastómeros se adquirieron a partir del caucho, actualmente se extraen a partir de los derivados del petróleo. Un ejemplo de estos materiales son los neumáticos. Entre los diferentes tipos de cauchos se encuentran:






- SBR, cauchos sintéticos del 25% de Estireno y 75% de Butadieno.
- Isopreno, caucho natural, se usa para hacer caucho sintético.
- Neopreno, caucho sintético con gran resistencia a los agentes atmosféricos. Se usa en carreteras para apoyo de vigas y estructuras.
- SBS, caucho termoplástico, desarrollado en los Estados Unidos en la década del 60 en adhesivos y suelos (Balbín, M., Enríquez, R., 2 020, p37).

Como se planteó anteriormente, estos plásticos son empleados para conformar diversos artículos que luego de un periodo determinado de uso, los mismos dejan de utilizarse y son vertidos en diferentes espacios indiscriminadamente, lo que



conlleva una gran contaminación ambiental. En aras de esta problemática se trazan estrategias para su reutilización. Para ello los polímeros tienen códigos para que sea posible identificarlos para su futuro reciclaje, en la siguiente figura se muestran dichos símbolos.

Tabla: 1.4 Código de identificación de los plásticos.

Códigos							
Resinas	PET Polietileno Tereftalato	PEAD Polietileno de alta densidad	PVC Policloruro de vinilo	PEAD Polietileno de baja densidad	PP Polipropileno	PS Poliestieno	Otros

Fuente: García, R., 2005 p25

A continuación, en los dos siguientes epígrafes se exponen como deben procesarse estos materiales desechados, así como ejemplos de su uso en otras esferas industriales.

1.2.1 Ciclo de vida de los residuos plásticos.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) advierte que en cada año se producen más de 400 millones de toneladas de plástico en el mundo y sólo el 9% de los desperdicios son reciclados. Si el ritmo del consumo y gestión de residuos continúa, se estima que para el año 2050 habrá alrededor de 12 mil millones de toneladas de basura de plástico en todo el mundo. “El plástico no es un problema, es lo que hacemos con él”, palabras de Erik Solheim, director de la ONU. (Pacheco, L., 2019 p16-17)



Figura 1.2 Isla formada por residuos plásticos desechados en el océano.
Fuente: <https://www.catalogodeempaques.com/temas/Colombia-se-podria-enfrentar-a-un-tsunami-plastico+128894>

La única forma para evitar el gran daño que provoca al medio ambiente estos desechos, es la posibilidad de reutilizarlos.

Reciclar es actualmente una de las acciones más importantes para reducir los impactos producidos por los desechos poliméricos y representa una de las áreas más dinámicas en la industria de plásticos. No solo proporciona oportunidades de reducir el uso del petróleo (por cada dos toneladas de plástico que se recicla, se ahorra una tonelada de petróleo), sino que permite disminuir las emisiones de dióxido de carbono y otros químicos al medio ambiente.

Popularmente, reciclar es sinónimo de recolectar materiales para volver a ser utilizados de alguna manera. Sin embargo, la etapa de recolección es solamente la primera de una serie de pasos para completar el proceso de reciclado.

El reciclaje es un proceso que consiste en someter a un proceso fisicoquímico y/o mecánico a una materia o un producto ya utilizado, que implica un ciclo de tratamiento total o parcial para obtener una materia prima y/o un nuevo producto. También se podría definir como la obtención de materias primas a partir de desechos, alargando su ciclo de vida o que se produce ante la perspectiva del agotamiento de recursos naturales, marco económico y para eliminar de forma eficaz los desechos. (Rodríguez, P., 2 013, p23-33)

La elección de una alternativa de tratamiento para los residuos plásticos, se debe evaluar científicamente a través de un análisis de su ciclo de vida (figura 1.3), que permita en cada una de sus etapas optimizar los recursos y minimizar el impacto ambiental.

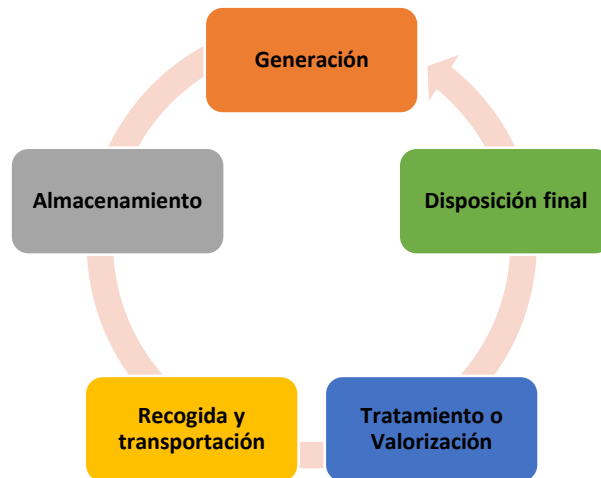


Figura 1.3 Ciclo de vida de los residuos plásticos. Fuente: (Hernández, K. 2017 p12)

1. Generación

“Es la acción de producir residuos plásticos a través de procesos productivos o de consumo”. Tiene en cuenta las particularidades poblacionales de las distintas áreas, el nivel socioeconómico y cultural, el ingreso per cápita, los hábitos de consumo, y la conciencia ecológica.

2. Almacenamiento

Es el elemento incluido en todas las etapas, en el que se evita que materiales de mucho valor vayan a parar a los vertederos. Éste proporciona mejoras ambientales reales como la disminución de las tasas de residuos que llegan a rellenos sanitarios y la maximización del aprovechamiento de los recursos. Se debe realizar basado en el principio de asegurar las condiciones de protección ambiental y de la salud humana, así como el cumplimiento de lo establecido en las normas cubanas y las buenas prácticas.

3. Recogida y transportación

Esta etapa es la parte esencial de un sistema bien organizado de saneamiento por lo que las dos actividades deben analizarse integradas. Tienen como objetivo principal preservar la salud pública mediante la recolección y transportación al sitio de tratamiento o disposición final en forma eficiente y al menor costo de los residuos

plásticos generados. De especial importancia en la economía del reciclado de plásticos, son los problemas logísticos relacionados con la recogida y transporte de los residuos. La facilidad para su separación será función directa de la complejidad en la composición de los mismos.

4. Tratamiento o valorización

Es la modificación de las características físicas, químicas o biológicas de los residuos plásticos, con el objetivo de reducir la nocividad, controlar la agresividad ambiental y facilitar su gestión. El tipo de tratamiento que se debe dar a los residuos plásticos viene determinado por una serie de factores de muy distinta naturaleza, en pocos casos tecnológicos, y entre los que habría que destacar la disponibilidad de terrenos aptos para su uso como vertederos controlados y la legislación medioambiental existente. Si bien, desde el punto de vista del ciclo de vida no todos los residuos de plásticos son adecuados para su reciclado, no existen razones técnicas que justifiquen que el plástico deba ser depositado en un vertedero en lugar de ser reciclado o explotado con fines de valorización energética. Esto podría hacerse mediante la eliminación progresiva o la prohibición del depósito de desechos de plásticos en los vertederos (Hernández, K. 2017 p12-14).

Dentro de esta etapa existen diversos métodos de aprovechar los plásticos una vez terminada su vida útil: someterlos a un reciclado mecánico, a un reciclado químico o emplearlos como fuente de energía.

- Reciclado mecánico

Es un proceso físico mediante el cual el plástico post-consumo o el industrial, es recuperado. Los residuos ideales para este tipo de tratamiento son los industriales, ya que se encuentran poco degradados y no presentan impurezas ni suciedad. Dentro de este procedimiento se encuentran los reciclajes primarios y secundarios. El reciclaje primario consiste en convertir el desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas semejantes a la del material original. Se utiliza con termoplásticos como PET, PEAD, PEBD, PP, PVC, entre otros. El proceso consta



de varias etapas: separación, limpieza, peletizado, las cuales se muestran a continuación.

- Separación: puede ser manual (por experiencia o identificación por códigos), por máquinas (foto-ópticas que reconocen formas y transparencias), por gravedad específica (diferencia entre densidades).
- Limpieza: el objetivo es separar contaminantes como comida, piedras, polvo, pegamentos, etc.
- Peletizado: el propósito es obtener plástico en pequeños pedazos (pellets). Se realiza por el método de extracción.

El reciclaje secundario es un procedimiento de fusión cuyo objetivo es transformar los polímeros en productos diferentes a la materia inicial. Se emplea con termoestables o plásticos contaminados. El proceso es más simple que el primario; se elimina la necesidad de separar y limpiar los plásticos, por tanto, es común obtener plásticos mezclados.

- Reciclado químico

Es un proceso a partir del cual el plástico se degrada a compuestos químicos y combustibles. Esta descomposición se produce mediante diferentes técnicas (pirólisis, gasificación, otras).

- Pirólisis: se utiliza calentamiento directo o indirecto sin presencia de oxígeno que las largas cadenas se rompan en pequeñas moléculas. Se usan temperaturas elevadas alrededor de los 800°C. Como ventaja no involucra un paso de separación, recupera los plásticos en sus materias primas y los polímeros se pueden rehacer.
- Gasificación: es similar a la pirolisis, pero con mayores temperaturas (superiores a los 900°C).

Este reciclaje es una solución de recuperación de residuos plásticos más valiosa que la incineración, y se considera un proceso complementario al mecánico, ya que ofrece posibilidades que resuelven limitaciones de este último. Entre las cuales se



encuentra la necesidad de disponer de residuos plásticos limpios, separados y homogéneos para poder garantizar la calidad del producto final.

Las principales desventajas con respecto al mecánico suelen estar relacionadas con la economía, las plantas químicas y las operaciones para este tratamiento requieren altos costes de inversión. (Íñiguez, M., 2019 p69)

- Fuente de energía

En este caso se utiliza el plástico como combustible, consiste en calentar el polímero con el objetivo de usar la energía térmica liberada para otros procesos. (Angumba, P., 2016 p14)

5. Disposición final

Última etapa del ciclo de vida de los residuos plásticos. Consiste en disponer los que hayan quedado después del manejo de los mismos, mediante métodos que minimicen los efectos degradantes sobre el medio ambiente y permitan un efectivo control en el tiempo. (Hernández, K. 2017 p14).

Diversos son los aprovechamientos que se pueden conseguir al reutilizar los residuos de polímeros, como puede ser en la rama de la artesanía, artículos útiles del hogar, así como en la construcción, entre otras esferas. A continuación, se brindan algunos resultados de experiencias internacionales y nacionales del uso de estos desperdicios en la esfera de la construcción, con mayor énfasis, en viales.

1.2.2 Experiencias del empleo de residuos plásticos en la construcción de carreteras.

El uso de polímeros en la construcción es una nueva técnica para optimizar las propiedades de elementos constructivos. Se puede citar como ejemplo que se han empleado envases de botellas plásticas PET en la fabricación de viviendas de bajo costo, fundamentalmente en países en vías de desarrollo. Este sistema constructivo permite ahorrar hasta el 50% en materiales, si se compara con la construcción tradicional, logrando con ello ser una solución muy útil para poblaciones en estado de pobreza. También se utiliza el PET como remplazo del árido fino en el hormigón



para la fabricación de elementos constructivos como ladrillos, bloques y paneles. Los ladrillos hechos con base polimérica no requieren hornos para su secado, evitando así contaminantes por el uso de combustibles. (Muñoz, L. 2 012)

El uso de geotextiles y geomallas permiten estabilizar taludes, aumentar las capacidades de carga de las capas inferiores del pavimento como la base y la subbase.

Además, se conoce que la utilización de residuos plásticos mejora la calidad de los pavimentos, tanto rígidos como flexibles. En los pavimentos rígidos se emplean como aditivos al hormigón, mientras que en los flexibles se pueden añadir a la mezcla asfáltica, como también, en la sustitución de parte del agregado fino. Esta práctica tiene como objetivo mejorar las características mecánicas como la resistencia a las deformaciones, así como el aprovechamiento de grandes volúmenes de residuos plásticos, que en muchas partes del mundo son una gran fuente de contaminación al medio ambiente.

(Forigua, J., Pedraza, E., 2 014) realiza un trabajo en el que adicionan residuos de plásticos de PEAD (trozos de bolsas) a una mezcla asfáltica densa en caliente. El mismo analiza mediante el ensayo Marshall, el comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente para porcentajes que van desde el 0.1% hasta el 0.5% con respecto al peso de la muestra. Obtiene en sus resultados que la adición de PEAD para un 0.4%, mejora de manera substancial las propiedades mecánicas del asfalto (estabilidad, módulo de rigidez), no así con los porcentajes menores o mayores al mencionado. Una adición entre el 0,1 al 0.2% y mayor que un 0,45% presenta una disminución en un 55% de los parámetros Marshall con respecto a una mezcla asfáltica tradicional.

(Aimacaña, J., 2017) hace un análisis comparativo del comportamiento a compresión entre la mezcla asfáltica caliente tradicional y una modificada a base de polímeros (polietileno de alta densidad proveniente de tapones reciclados). Para ello sustituye porcentajes que oscilan entre el 1% y 3% del agregado fino con respecto



al peso total de los áridos por este tipo de residuo. Para ello se trituraron estas tapas hasta obtener tamaños entre 0,6 mm a 1,5 mm.

Mediante el ensayo Marshall, el parámetro de estabilidad obtenida con la mezcla modificada para la sustitución del 1% de PEAD triturado es el que presenta mejores resultados. Esta modificación permite mantener las propiedades físico-mecánicas planteadas por el ensayo antes mencionado. La dosificación de la mezcla asfáltica óptima modificada queda definida por la distribución de: 60% de agregado grueso, 39% de agregado fino, 1% de polímero (PEAD) y 6.0% de asfalto.

(Monturiol, M., 2019) basa su investigación en la modificación de mezclas asfálticas caliente modificadas con PET, mediante los métodos (húmedo y seco). El objetivo se centra en comparar las mezclas con polímeros y la tradicional para identificar el cambio en el desempeño de las mismas.

Método húmedo.

Para ello añade el agente modificante al asfalto en caliente, previo al ser mezclado con el agregado pétreo. La primera prueba se realiza con partículas de PET con un tamaño aproximadamente de 0,5 cm de diámetro o menor, a una temperatura entre 180°C y 185°C por un tiempo de mezclado de dos horas y media. En esta modificación se utiliza un porcentaje de plástico de 1,5% del peso total del asfalto. Sin embargo, el plástico no se mezcló de la manera deseada ya que las partículas no se derritieron ni se fusionaron de manera homogénea.

Posteriormente se redujo el tamaño máximo de las partículas a 0,5 mm aproximadamente y se aumenta el tiempo de mezclado a tres horas. Se realizaron pruebas con diferentes porcentajes respecto al peso total de la muestra con adiciones que varían del 1,5% al 5,0%. En la figura 1.4 se muestran imágenes de este proceso.

A: PET utilizado en la primera modificación.

B: tamaño del plástico molido.

C: partículas de polímeros en la mezcla asfáltica.



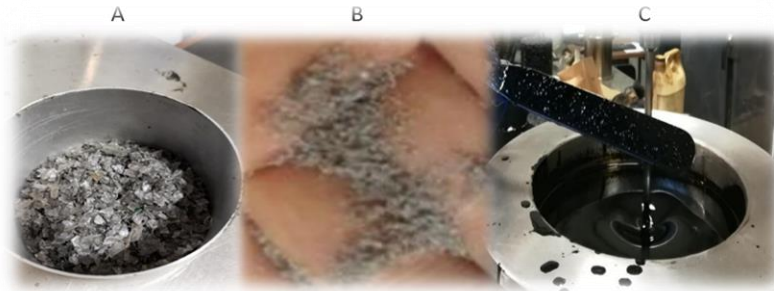


Figura 1.4 Método húmedo. Fuente: Monturiol, M., 2019

Método seco.

A diferencia del anterior en este se realiza la sustitución del plástico PET por parte del agregado fino y el uso del asfalto sin modificar. Para esta prueba, él elabora la mezcla a una temperatura de 165 °C, Se utilizaron partículas de polímero pasando el tamiz No.4, es decir, menores a 4,75 mm de lado, para que actué como agregado fino. Reemplaza al mismo en un 1% respecto al peso de los áridos. Luego de añadir el plástico se añade el asfalto. En la figura 1.5 se muestran imágenes de este procedimiento.



Figura 1.5 Método seco. A: agregado utilizado para la mezcla, B: inclusión del plástico, C: asfalto vertido en la mezcla. Fuente: Monturiol, M., 2019.

Una vez, concluido el análisis por ambos métodos, Monturiol arriba a la conclusión que el método seco para el 1% de sustitución de agregado fino presenta mejores resultados en comparación con el método húmedo y la mezcla convencional, pues ésta resulta más rígida y capaz de resistir un mayor número de ciclos de carga.

FACULTAD DE INGENIERIA
DPTO. DE CONSTRUCCIONES

Además, él realiza un ejemplo de cálculo, en el cual se estima que para una carretera de 2 carriles (3,5 metros de ancho) por sentido con una carpeta de 5 cm de espesor, demanda alrededor de 600 000 botellas de PET de 330 ml por kilómetro, lo cual significa una cantidad elevada de plástico, al que se le estaría dando un uso alternativo y a su vez ayuda así a reducir la contaminación ambiental. (Balbin, M., Enriquez, R., 2 020) realizan una investigación con la finalidad de dar a conocer las mejoras en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas modificadas con elastómeros (SBS y SBR). Se obtuvo como resultado que la adición de estos polímeros entre 1%-5%, con respecto al peso de la mezcla, influye en la mejora del comportamiento mecánico, el desempeño y rentabilidad de la mezcla asfáltica en zonas cálidas de Perú, respecto a la mezcla convencional.

(Valer, E., 2 020) dirige su estudio hacia el ahorro de materiales y la optimización en el rendimiento del concreto, al emplear la adición de fibras plásticas PET recicladas.

La materia prima (botellas de plástico PET de bebidas gasificadas) se recolectó de botes de basura y fueron lavadas con agua, cortadas por la parte inferior y superior, con el uso de tijeras se fabrican manualmente fibras de PET con las siguientes dimensiones aproximadamente:

Espesor: 0,08 mm, ancho: 3,0 mm y largo: 40,0 mm

Estas fibras se añadieron a la hormigonera como si fueran un agregado o aditivo más, y se mezclaron alrededor de 0,8 minutos.

Se realizaron testigos (diámetro 15 cm, altura 30 cm) y vigas prismáticas de sección transversal (15 cm x 15 cm x 54 cm) para un hormigón convencional (0% de incorporación de fibras plásticas) y un hormigón reforzado con PET (en proporciones de 2%, 5% y 7.5% con respecto al peso del cemento).

Mediante ensayos de resistencia a la compresión axial y a la flexión se alcanzaron los siguientes resultados:



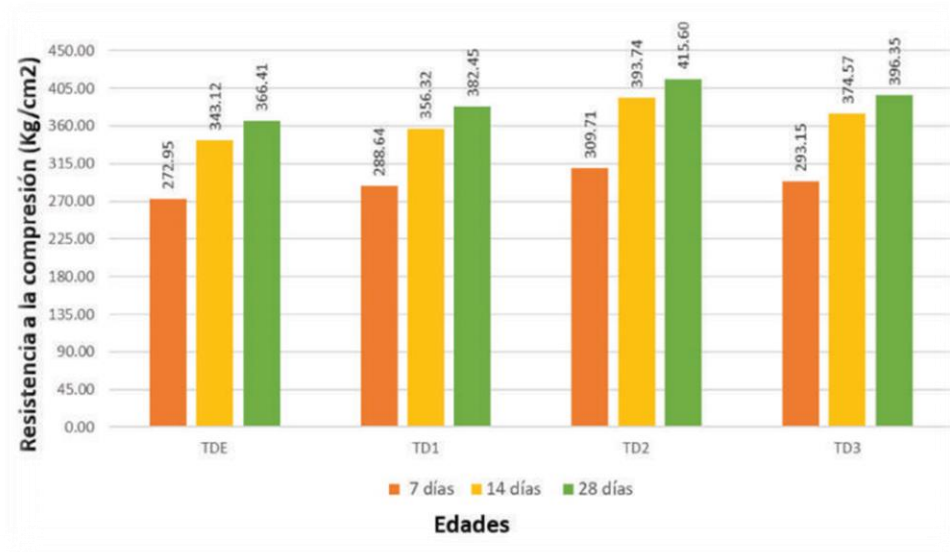


Figura 1.6 Cambios en la resistencia a la compresión del grupo de prueba.
Fuente: (Valer, E., 2020)

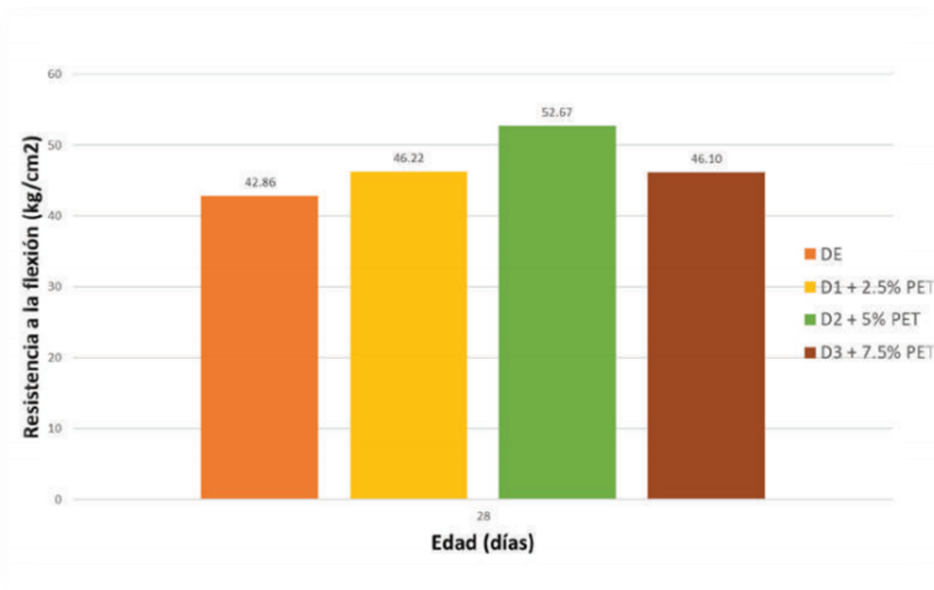


Figura 1.7 Cambios en la resistencia a la flexión del grupo de prueba.
Fuente: (Valer, E., 2020)

Este estudio demuestra que el concreto modificado con PET a una proporción del 5% mejora ampliamente sus propiedades mecánicas, aumenta su resistencia a la compresión (F_c) y el módulo de elasticidad (M_r), además, reduce el espesor del

FACULTAD DE INGENIERIA
DPTO. DE CONSTRUCCIONES

pavimento (2.30 cm para el propuesto por Valer), por lo que se logra una reducción de costos en este tipo de estructuras.

De manera general se puede percibir que los polímeros, se estudian y emplean para la conformación de carreteras, tanto para pavimentos rígidos, como para flexibles, pero con mayor implementación en estos últimos, en mezclas asfálticas en caliente. Entre los materiales con mayor uso se encuentran los PET, PEAD y los elastómeros, los que se utilizan como adición o sustitución de un por ciento de árido fino con respecto al peso total de los áridos, donde se obtiene a manera general mejores resultados (mejora la estabilidad de los pavimentos) cuando se emplea como sustitución, en un rango del 1,0% al 3,0%.

Experiencias nacionales.

En Cuba no se percibe una gran bibliografía al respecto, sólo se encuentran investigaciones referentes al tema de la incorporación de los residuos plásticos en carreteras en dos provincias, Villa Clara y Holguín, fundamentalmente se centran en los elastómeros (caucho).

En la Universidad Central de Las Villas, en el año 2003, se realizó una investigación sobre la posibilidad de uso del polvo de recape de neumáticos en mezclas asfálticas. Donde se obtuvo un modelo matemático que permite analizar la tendencia al mejor comportamiento de parámetros de calidad de los aglomerados asfálticos, tales como estabilidad y deformación Marshall, cuando un por ciento del ligante es sustituido por polvo de bofeo. (Cuadrado, C., 2016, p10)

En la Universidad de Holguín, Cuadrado (2016) plantea como objetivo: estudiar las posibilidades de utilizar el polvo de bofeo resultante del proceso de recape de neumáticos de la Planta Recapadora “Arsenio Escalona” de la ciudad, y la escoria que se obtiene de la fundición del acero proveniente de la Planta ACINOX Las Tunas, en sustitución de un por ciento de árido fino (ver figura 1.8) en la conformación de hormigones asfálticos para capa de rodadura de pavimentos flexibles.



Él realiza varias mezclas asfálticas modificadas, las cuales compara con la mezcla tradicional mediante ensayos de estabilidad, deformación, densidad y relación de vacíos. En la figura 1.9 se muestran los resultados obtenidos de los parámetros antes mencionados.

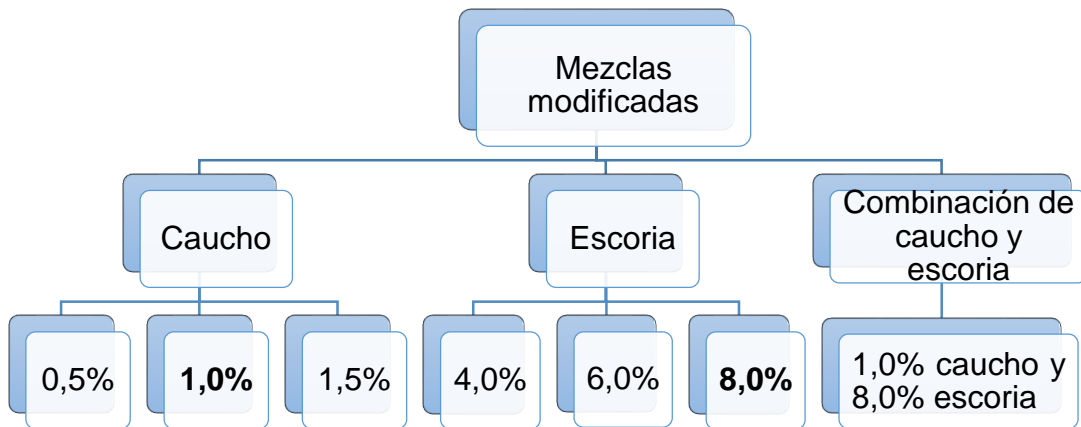


Figura 1.8 Porcentos de caucho y escoria en sustitución por agregado fino.
Fuente: elaboración propia

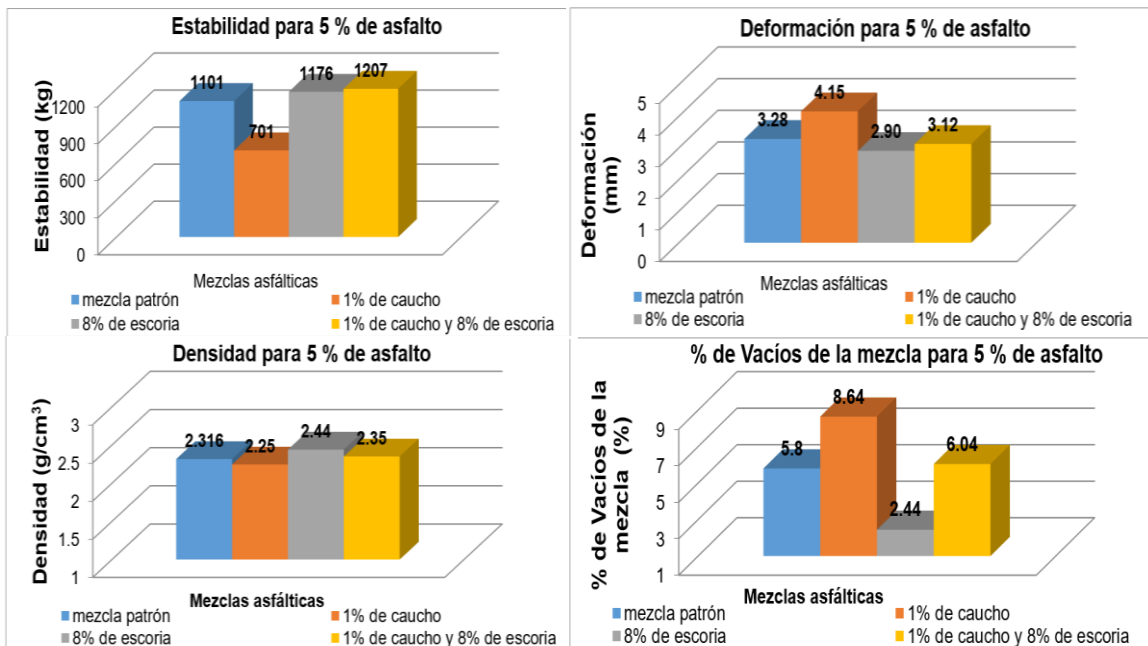


Figura 1.9 Resultados de los ensayos Marshall para las cuatro mezclas propuestas.
Fuente: Cuadrado, C., 2016

Cuadrado (2016) concluye, que el polvo de bofeo (caucho) resultante del proceso de recapado de neumáticos, no puede ser utilizado en mezclas asfálticas como filler. Sin embargo, al obtener en el ensayo Marshall, los mejores resultados de la combinación del caucho con la escoria demuestran que, el caucho, aunque no sea como filler, mejora la resistencia de la mezcla asfáltica.

Conclusiones parciales

- El análisis de los fundamentos teórico – referenciales permite obtener las premisas para el aprovechamiento del plástico como material alternativo en la construcción de carreteras.
- Las experiencias identificadas permiten destacar que la fabricación de mezclas asfálticas modificadas con polímeros resulta una experiencia factible, lo que posibilita la sustitución de materiales tradicionales y aporta múltiples beneficios tanto económicos como medio ambientales.
- En el caso de Cuba, el diseño de mezclas asfálticas modificadas con polímeros es prácticamente una novedad, son escasos los estudios relacionados con el tema.



CAPÍTULO 2 ESTUDIO TEÓRICO PARA LA VALORIZACIÓN DE LAS POTENCIALIDADES DEL USO DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

Introducción al capítulo.

En este capítulo se aborda la solución al problema de la investigación. Para ello se elaboran criterios a tener en cuenta a la hora de realizar la evaluación del plástico como material alternativo para la construcción de carreteras. Se determinan sus potencialidades en cuanto a volumen de generación y se validan las propuestas de alternativas a partir de experiencias internacionales.

Para evaluar la posibilidad del uso de los residuos plásticos que se generan en la provincia, para la construcción de carreteras, se establecen cinco pasos que se describen a continuación:

- Paso 1. Estado actual de los viales en el municipio Holguín.

En este punto se analiza la cantidad de kilómetros en el municipio que se encuentran en buen estado técnico, las causas de los deterioros, así como los planes de mantenimientos que se programan para los viales existentes.

- Paso 2. Caracterización del ciclo de vida de los residuos plásticos en el municipio Holguín.

Se detalla el ciclo de vida de los residuos plásticos en el municipio, desde su recolección hasta su disposición final. Con énfasis en los aspectos de clasificación, volúmenes, tratamiento y costos.

- Paso 3. Análisis del proceso de fabricación de las mezclas asfálticas en caliente en la provincia.

Inicialmente se debe exponer las plantas existentes en la provincia y se aborda las mezclas asfálticas que se producen en las mismas con mayor énfasis en las más próxima al municipio cabecera. De ésta se abordará las dosificaciones que emplean para la conformación de las mezclas asfálticas en caliente, así como las canteras



de las cuales provienen los áridos que emplean para los diferentes tipos de mezclas, los costos y el volumen necesario de materiales pétreos para la obtención de una tonelada de HAC. Además, en este punto se debe abordar sobre los parámetros técnicos que deben cumplir de acuerdo a la NC: 54-223:90.

- Paso 4. Análisis de los resultados.

Para el desarrollo de este punto se plantea una dosificación a partir de las experiencias internacionales. Esto posibilita realizar un análisis de la incidencia del empleo de este residuo con respecto a la elaboración de la mezcla tradicional.

- Punto 5. Valorización de la posibilidad del empleo de los residuos plásticos en la construcción de carreteras en el municipio de Holguín.

2.1 Estado actual de las vías en el municipio de Holguín.

El municipio Holguín, con una extensión territorial de 689,8 km², se localiza en la región norte del país y en la zona centro oeste de la provincia de igual nombre. Limita al norte con los municipios Gibara y Rafael Freyre, al sur con Cacocum y Báguano, al este con Rafael Freyre y Báguano y al oeste con Calixto García, garantiza por su distribución territorial, una óptima centralidad y conectividad con relación al país y al resto de los municipios.

Está integrado por 21 Consejos Populares, con 142 asentamientos, de ellos dos urbanos: la ciudad de Holguín y San Andrés y 140 asentamientos rurales concentrados. Cuenta con una población de 355 016 habitantes y 104 047 viviendas, para una densidad de 503.2 hab/km² y un índice de habitabilidad de 3.53 hab/viv (Tamayo, D., 2020 p32).

Presenta una red vial de 1 148.74 km, de las cuales, el 34.46% (395.83 km) están asfaltadas y el 65.54 % (752.91 km) no presentan pavimentos. De los viales pavimentados en el municipio cabecera, en buen estado existen 314.1 km, lo que representa el 27.3%, de modo que demuestra que más del 70% del sistema vial urbano está sin una capa de rodadura en condiciones óptimas para ofrecer una



cómoda circulación. Información brindada por el inversionista de la Empresa Provincial de Comunales Holguín. En el anexo 1 se puede visualizar un resumen del Patronato Vial del municipio de Holguín.

En la rama de la construcción todas las obras necesitan de mantenimientos, éstos alargan la vida útil de las estructuras, en la mayoría de los casos los mantenimientos se programan desde la etapa de diseño. Las carreteras no son la excepción, ya que la vida útil de los viales depende de las reparaciones que se les realicen. El Ing. Pavel Rodríguez Rodríguez, director del Centro Provincial de Vialidad afirma que los mantenimientos en el país solo se encuentran planificados para las carreteras de interés nacional, como la carretera central. A este tipo de avenidas se le realizan mantenimientos mensuales (corresponden a limpiezas) y anuales (bacheo, relleno de grietas, etc.), los que necesitan alrededor de doscientos millones de pesos anuales.

Estas cifras significan que se requieren inversiones bien altas para que la malla vial del país logre un estado de calidad apropiado para satisfacer las demandas generadas por el tráfico vehicular.

El deterioro en este tipo de estructuras puede tener varias causas entre las que se pueden citar:

- falta de mantenimientos que pueden ser escasos o nulos en muchos casos.
- intervenciones por la Empresa de Recursos Hidráulicos cuando realizan reparaciones por averías en los sistemas de acueducto y alcantarillados, los cuales generan una rotura en el pavimento para realizar sus labores que posteriormente deben sellar, acción que en muchas ocasiones no se realiza (ver foto 2.1) o rellenan de forma incorrecta las zanjas que provoca desnivel en la capa de rodadura, y esto a su vez puede generar incomodidad a los conductores y desperfectos en los medios de transporte.
- Otra causa puede ser que cuando se realizan los trabajos de recape, no se extraen las tapas de los registros y por tanto genera un hueco (ver foto 2.2)



- Por mala ejecución de los trabajos de mantenimiento que pueden citarse: no detección del deterioro real y se realiza el bacheo o recape superficial, no adecuada selección del material en dependencia del vial a reparar, es decir, emplean mezclas asfálticas en pavimentos rígidos.



**Figura 2.1 Deterioros en los viales del municipio Holguín.
Fuente: Elaboración propia**

Por lo antes expuesto, es necesario buscar alternativas para mejorar la calidad de los pavimentos, entre las que se encuentran el uso de residuos plásticos como material alternativo para la construcción de los mismos.

2.2 Caracterización del ciclo de vida de los residuos plásticos en el municipio Holguín.

El reciclado en Cuba está en una etapa incipiente, estando focalizadas hacia el reciclado de los propios desechos industriales de empresas transformadoras de plásticos y a trabajos investigativos de algunos centros de investigación como las universidades de Holguín, de La Habana y de Las Villas; la principal limitación es la no existencia de tecnologías avanzadas para este fin. Por tanto, los trabajos realizados han estado dirigidos a la caracterización de polímeros, estudio de tecnologías de avanzadas para el reciclado utilizadas en algunos países de Europa y América, de degradación de materiales plásticos y de materiales compuestos de

matriz polimérica. En ninguno de ellos se analiza el reciclado (transformación) que hacen los artesanos y su implicación ambiental. (Rodríguez, P., 2 013, p30)

El reciclado en el municipio Holguín se realiza por mediación de la Empresa de Industrias Locales Varias a través de transformadores, artesanos con máquinas criollas (de confección propia).

Los materiales como el bronce, hierro, plástico, algodón, papel, entre otros llegan a la empresa recicladora por tres vías:

1. Mediante industrias, los desechos de las mismas son comprados por MP.
2. Comités de Defensa de la Revolución (CDR), pioneros; se realizan trabajos voluntarios de reciclaje.
3. Casas de Compra de materiales reutilizables.

En el año 2018 se generaron 971 200 m³ de residuos sólidos urbanos, con un índice de generación per cápita de 2,3 m³/habitante/día. Entre los que se encuentran: papel y cartón, plásticos de diferentes tipos: tereftalato de polietileno (PET), policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad (PEAD), polietileno de baja densidad (PEBD), vidrio de diferentes colores, aluminio (latas, enseres de cocina, otros), metales ferrosos y no ferrosos, pieles sintéticas, neumáticos de todo tipo, escombros de construcción, entre otros (Tamayo, D., 2020 p34). El plástico representa el 15% (145 680 m³) del volumen total generado en el año 2018 por la empresa de Materias Primas en el municipio Holguín. En el gráfico 2.1 se muestra la composición de los residuos sólidos urbanos generados en el año 2018 en el municipio Holguín.



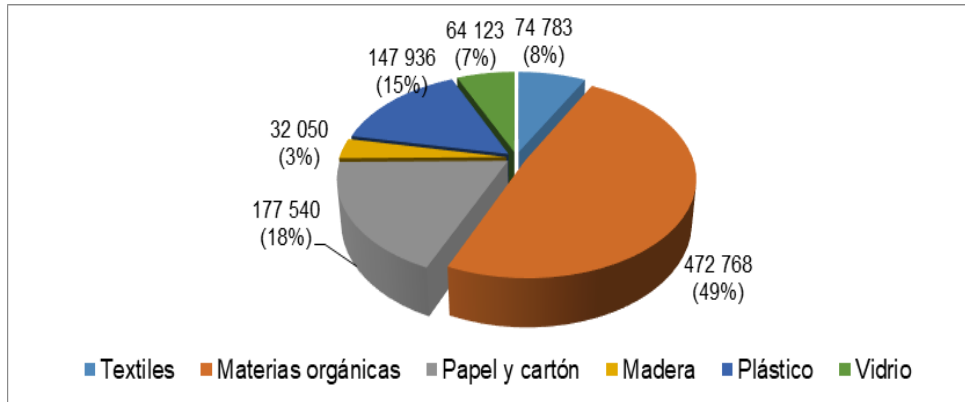


Figura 2.2 Composición de los residuos sólidos urbanos en el municipio Holguín. Fuente: Tamayo, D., 2020 p34

Etapas del manejo ambiental de los residuos plásticos en el municipio Holguín.

El reciclado de los plásticos que se realiza en la provincia de Holguín, es solo el mecánico, pues no se dispone con la tecnología necesaria para realizar los demás procedimientos (afirmación emitida por Noelio Osorio Fuentes, Director Comercial de la entidad). A continuación, se mencionan las etapas que se ejecutan en esta entidad. (Figura 2.3)

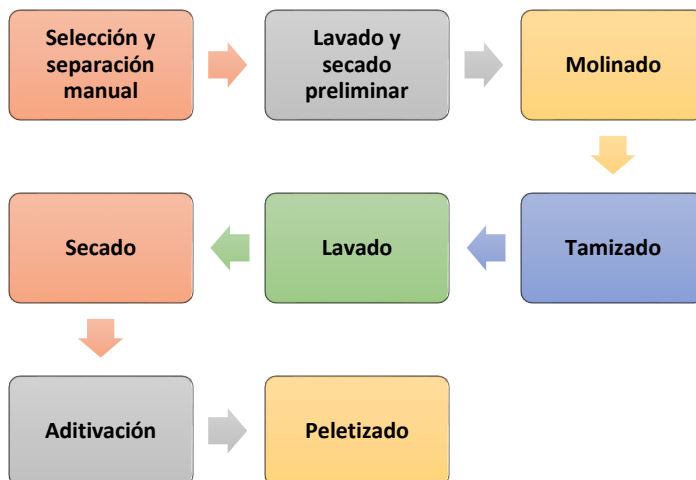


Figura 2.3 Etapas para el manejo de los residuos plásticos en la Empresa de Materias Primas del municipio de Holguín. Fuente: elaboración propia

- Selección y separación manual
 - a) Separar los termoestables de los termoplásticos.
 - b) Clasificar los termoplásticos en PET, PEAD, PEBD, PP, PVC y otros, a partir de la experiencia del personal y de los códigos que deben aparecer en el fondo de los envases.
 - c) Separar los artículos que provienen de sustancias tóxicas.
 - d) Cada tipo de plástico se divide por color y, preferiblemente, de acuerdo a su abundancia por artículos y envases de los que provienen.
 - e) Separar las tapas de los envases, pues generalmente no son del mismo material.

- Lavado y secado preliminar

Se efectúa en dos fases: en la primera se separan en el lavado, la suciedad de poco adherida, por ejemplo, arena o piedras, y se realiza con agua en lavaderos o balsas. En la segunda se elimina la suciedad fuertemente adherida, como tintas, etiquetas de papel, incluidos adhesivos. En caso de caso de no quedar totalmente limpios, los restos deben quitarse de forma manual.

Se realiza el secado para evitar que, al moler las partículas más pequeñas, las mismas se adhieran entre sí, de forma tal que no se dificulte la operación del molido.

- Molinado:

Este proceso se efectúa con un molino de cuchillas, el cual convierte el material en gránulos; puede ser en dos etapas. En la primera etapa se realiza una molienda gruesa (reducción de tamaño hasta 15 mm). Seguidamente, en caso de ser necesario se procede a una segunda etapa de trituración para lograr un material más fino que incluso puede llegar a ser polvo.





Figura 2.4 Molino de la empresa de materias primas y una muestra de PEAD triturado. Fuente: Elaboración propia.

- Tamizado

Cuando se trabaja con residuos muy degradados es aconsejable realizar un tamizado para separar el polvillo compuesto generalmente de la fracción más degradada (capa externa del plástico), del resto más grueso; ambos deben ser tratados de forma diferente durante su transformación.

- Lavado

Consta de varias etapas (en caso de ser necesario) de lavado por medio de agitadores mecánicos (tanques provistos de agitación) que a la salida pueden llevar acoplada una centrífuga para eliminar el agua, en dependencia del nivel de suciedad. Es posible agregar algún agente para facilitar el desprendimiento de la suciedad. Generalmente, en el fondo de los tanques de lavado quedan partículas más pesadas, como metales, arena, etcétera.

- Secado

FACULTAD DE INGENIERIA
DPTO. DE CONSTRUCCIONES

El secado se efectúa por escurrimiento en mallas, al sol o en flujo de aire caliente. Después del proceso de limpieza, los plásticos se denominan hojuelas limpias o granulado limpio.

- Aditivación

Las hojuelas limpias se mezclan físicamente con un 20 % de material virgen; se remueve la masa mediante agitación hasta lograr una buena homogenización.

- Peletizado

El material se funde y pasa a través de una boquilla para tomar la forma de espagueti, se enfría en un baño de agua. Una vez frío es cortado en trozos pequeños llamados pellets. Para esto se puede utilizar una máquina extrusora para plásticos.

- Transformación

La tecnología de transformación o procesado de polímeros tiene como finalidad obtener objetos y piezas de formas predeterminadas y estables, cuyo comportamiento sea adecuado a las aplicaciones para las que están destinados. Las técnicas utilizadas en el municipio son la de extrusión y la de moldeo por inyección. Las máquinas para estas transformaciones han sido creadas por el ingenio popular.

Noelio Osorio Fuentes (Director Comercial) y Orlando Ricardo Ávila (Director de Desarrollo), ambos pertenecientes a la Empresa de Materias Primas, afirman que actualmente Holguín, es la provincia que más volumen de plástico recicla. Se recuperan entre 35 y 45 toneladas mensuales de diversos tipos de polímeros PET, PEAD, PEAB, PP, PVC, entre otros. Éstos son vendidos a Industrial locales. El precio varía desde los 3mil a 15mil cup por tonelada, en dependencia del tipo de plástico y del convenio establecido.



FACULTAD DE INGENIERIA
DPTO. DE CONSTRUCCIONES

Entre los residuos que más volumen se reciclan mensualmente se encuentran: los PEAD (12 a 15 toneladas) y los PET (2,5 a 3,5 toneladas). Los precios de venta de estos polímeros reciclados están alrededor de \$3400 la tonelada para el PEAD y de \$14 000 la tonelada de PET. Estos residuos se muestran en la figura 2.5.



Figura 2.3 Residuos plásticos almacenados en la Empresa de Materias Primas del Municipio de Holguín. (A: Polietileno de alta densidad y B: Polietileno tereftalato)
Fuente: elaboración propia

2.3 Análisis del proceso de fabricación de las mezclas asfálticas en caliente en la provincia.

Holguín cuenta con dos fábricas de elaboración de mezclas asfálticas, la de Moa y la Freyre. Por la cercanía con el municipio cabecera, al cual va dirigido la valoración del uso del residuo en la construcción de carretera se realizará el análisis para la planta ubicada en el municipio Rafael Freyre.

Esta fábrica tiene una capacidad productiva de 100 toneladas por hora de mezclas asfálticas calientes densas y semidensas. El ligante que se emplea es del tipo 50/70 procedente de la refinería de Cabaiguán, que debe cumplir los valores de calidad de la tabla 1.2.

FACULTAD DE INGENIERIA
DPTO. DE CONSTRUCCIONES

De acuerdo a la muestra ensayada de la corrida procedente del laboratorio de la Universidad de Investigaciones para la Construcción (UIC) en la Habana, las propiedades de este ligante se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 propiedades del ligante de la refinería Cabaiguán

Ensayos	Resultados
Penetración (100 g, 25° C, 5 seg) (1/10 mm)	51.80
Punto de Ablandamiento Anillo y Bola (° C)	50.5
Punto de inflamación (o C) Copa Cleveland	300
Punto de Combustión (o C) Copa Cleveland	325
Peso Especifico (g / cm ³)	1.030
Ductilidad en cm.	> 100
Solubilidad en tricoroetileno (%mm)	-
Viscosidad a 135° C (cts.)	-
Pérdida por Calentamiento película delgada. (%)	0.46
Penetración del residuo (%)	67.32
Ductilidad del residuo	-
Ablandamiento del residuo (° C)	56
Incremento del punto de ablandamiento (° C)	5.5

Fuente: Informe No. 414 / Año 2017, Laboratorio de ensayos UIC Holguín, p2

Los agregados utilizados son procedentes del molino del 200 Mil. Los resultados emitidos de los áridos por la ENIA se pueden localizar en el informe No. 331, con fecha 31/10/2016. Se dan a conocer las características físicas de los áridos utilizados para la mezcla que se pueden resumir de la siguiente forma en las tablas 2.2, 2.3 y 2.4.



**Tabla 2.2 Propiedades del polvo de piedra procedente de la cantera 200 mil
Polvo de Piedra (0 mm- 5 mm). Cantera 200 mil. Remolido molino
200mil.**

Ensayos	Resultados
Material más fino que el Tamiz 200	6.61 %
Partículas de arcilla	0.0 %
Peso específico corriente	2.56 g/cm ³
Peso específico saturado	2.62 g/cm ³
Peso específico Aparente	2.73 g/cm ³
Absorción	2.5 %
Peso Volumétrico Suelto.	1589 kg/m ³
Peso Volumétrico Compactado.	1912 kg/m ³
% de Huecos	25.31 %
Módulo de Finura	0.0 %

Fuente: informe No. 414 / Año 2017, Laboratorio de ensayos UIC Holguín, p3

**Tabla 2.3 Propiedades del Granito 3/8" procedente de la cantera 200 mil
Granito 3/8" (5 mm- 10 mm). Cantera 200 mil.**

Ensayos	Resultados
Material más fino que el Tamiz 200	0.97 %
Partículas de arcilla	0.0 %
Peso específico corriente	2.66 g/cm ³
Peso específico saturado	2.68 g/cm ³
Peso específico Aparente	2.72 g/cm ³
Peso Volumétrico Suelto.	1 kg/m ³
Peso Volumétrico Compactado.	2 kg/m ³
Absorción	0.9 %
% de Huecos	41.73 %
Partículas Planas y Alargadas	6.1 %

Fuente: informe No. 414 / Año 2017, Laboratorio de ensayos UIC Holguín, p5



Tabla 2.4 Propiedades del Granito ¾” procedente de la cantera 200 mil

Granito ¾” (10 mm– 19 mm). Cantera 200mil.	
Ensayos	Resultados
Material más fino que el Tamiz 200	0.38 %
Partículas de arcilla	0.0 %
Peso específico corriente	2.65 g/cm ³
Peso específico saturado	2.67 g/cm ³
Peso específico Aparente	2.70 g/cm ³
Peso Volumétrico Suelto.	1 kg/m ³
Peso Volumétrico Compactado.	2 kg/m ³
Absorción	0.8 %
% de Huecos	43.40 %
Partículas Planas y Alargadas	5.4 %

Fuente: informe No. 414 / Año 2017, Laboratorio de ensayos UIC Holguín, p6

En la tabla 2.5 se muestran los índices de consumo para las distintas mezclas asfálticas (densas y semidensas) para la elaboración de una tonelada de HAC, en la planta de Rafael Freyre.

Tabla. 2.5 Índices de consumo en la Planta de Rafael Freyre

Índices de consumo para 1t de HAC Planta de Rafael Freyre				
Material	Densa		Semidensa	
	Por ciento (%)	Cantidad (kg)	Por ciento (%)	Cantidad (kg)
Polvo de piedra	58.5	585	35	350
Granito 3/8"	36	360	42.1	421
Granito 3/4"	-	-	18	180
Asfalto	5.5	55	4.9	49
Total	100	1000	100	1000

Fuente: informe No. 414 / Año 2017, Laboratorio de ensayos UIC Holguín, p24



FACULTAD DE INGENIERIA
DPTO. DE CONSTRUCCIONES

Esta fábrica tiene una capacidad productiva de 100 t/h, por lo que demanda de grandes volúmenes de materiales pétreos. Para mantener una producción constante en una jornada de trabajo de ocho horas se necesitarían 280 toneladas de polvo de piedra aproximadamente, lo que implica un gran daño medioambiental.

A continuación, en la tabla 2.6 se muestran los valores obtenidos mediante el ensayo Marshall.

Tabla: 2.6 Parámetros de las mezclas asfálticas.

Mezclas	Estabilidad (kg)	Deformación (mm)	% vacío	% Huecos Agregados
Semidensa	956	3.03	6.7	16.1
Densa	1056	2.89	4.2	15.5

Fuente: informe No. 414 / Año 2017, Laboratorio de ensayos UIC Holguín

2.4 Análisis de los resultados

El presente estudio se realiza en medio de la crisis mundial ocasionada por la covid-19, por lo que no se lograron hacer pruebas a muestras de mezclas asfálticas modificadas con aditivos plásticos.

Para la propuesta de alternativa, se utiliza el método de triangulación (tabla 2.7), se parte de comparar el árido fino de la cantera 200 mil en Holguín con las de otras canteras pertenecientes a países con experiencias en el empleo de polímeros en la construcción de carreteras.



Tabla 2.7 Análisis comparativo de los áridos.

Parámetros	Polvo de piedra de la Cantera 200 mil, Gibara	Cantera La Victoria, Perú	Cantera Holcim-Pifo, Ecuador
Material más fino que la malla 0.074 mm (%)	6.61	0	0
Módulo de finura (%)	0	3.44	3.24
Partículas de arcilla (%)	0	0	0
Peso volumétrico suelto (kg/cm ³)	1589	1447	1540
Peso volumétrico compactado (kg/m ³)	1912	1591	1710
Porcentaje de vacío (%)	25.31	0	0
Peso Específico Corriente (g/cm ³)	2.56	2.45	2.57
Absorción (%)	2.5	1.0	1.72

Fuente: informe No. 414 / Año 2017, Laboratorio de ensayos UIC Holguín, Tamayo, D., 2020

Las propiedades de los áridos finos de la Cantera 200 mil, Holguín y los de la Cantera Holcim-Pifo, en Ecuador son muy similares. Los mismos posibilitan la utilización de los resultados obtenidos en la investigación realizada por Aimacaña, J. (2017) donde reemplaza el peso parcial del agregado fino, por polietileno de alta densidad triturado (tamaños entre 0,6 mm a 1,5mm) en porcentajes del 1%, 2% y 3% respecto al peso total de los áridos. En consecuencia, Aicamaña determina que la mezcla donde se reemplaza el 1% de agregado fino por PEAD es la que presenta mejores resultados. La tabla 2.8 muestra los resultados del ensayo Marshall (estabilidad, deformación y porcentajes de vacíos).

Tabla 2.8 Resultados del ensayo Marshall realizado por Aicamaña, J. (2017)

Ensayo Marshall	Estabilidad (kg)	Deformación (mm)	% Vacío en la mezcla	% Vacío en los áridos
Resultados Aicamaña (2017)	2087	2.29	3	13
Especificación NC 54-223	>900	2-4	3-5	>13

Fuente: Aicamaña, J., 2017 p85

Como se puede apreciar en la anterior tabla los resultados que obtiene Aicamaña, cumplen con los requerimientos de la NC: 54-223. De acuerdo a lo expresado se propone dosificaciones para analizar las mezclas asfálticas que se producen en la planta de Rafael Freyre con la incorporación de polímeros PET y PEAD.

Propuesta de dosificación.

Se proponen nueve dosificaciones de HAC para cada tipo de mezclas asfálticas (densa y semidensa). A partir del método de sustitución, en el que se reemplaza un porcentaje de árido fino por polímero. El porcentaje a sustituir es con respecto al peso total de los áridos. Es necesario aclarar que debe realizarse una corrección por volumen, pues hay que tener en cuenta las diferencias entre las densidades del árido fino y la de los polímeros, ya que se debe incorporar el mismo volumen, para evitar el error de añadir más plástico. De manera tal que no se afecten los porcentajes de vacíos en las mezclas. A continuación, se muestran las propuestas de dosificación para las mezclas densas (tabla 2.9) y para las semidensas (tabla 2.10).

Tabla 2.9 Propuestas de dosificaciones para mezclas densas

Materiales	Dosificaciones (% en peso)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Polvo de piedra	57.5	56.5	55.5	57.5	56.5	55.5	57.5	56.5	55.5
Granito 3/8"	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Granito 3/4"	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Asfalto	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
PEAD	1	2	3	-	-	-	0.5	1	1.5
PET	-	-	-	1	2	3	0.5	1	1.5

Fuente: elaboración propia

Tabla 2.10 Propuestas de dosificaciones para mezclas semidensas

Materiales	Dosificaciones (% en peso)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Polvo de piedra	33.4	32.4	31.4	33.4	32.4	31.4	33.4	32.4	31.4
Granito 3/8"	42.1	42.1	42.1	42.1	42.1	42.1	42.1	42.1	42.1
Granito 3/4"	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Asfalto	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
PEAD	1	2	3	-	-	-	0.5	1	1.5
PET	-	-	-	1	2	3	0.5	1	1.5

Fuente: elaboración propia

A continuación, en las tablas 2.11, 2.12 y 2.13 se muestran los materiales a emplear para la construcción de un vial con las siguientes dimensiones:

Largo: 1000m

Ancho de carril: 3m

Espesor de HAC: 0.06m

Cantidad de carriles: 2



Tabla: 2.11 Agregados a emplear para el HAC

1% de residuos plásticos			
Material	UM	Densa	Semidensa
Polvo de piedra	Ton	476.56	294.18
Granito 3/8"	Ton	298.08	363.74
Granito 3/4"	Ton	-	155.52
Plástico	m ³	4.92	5.17

Fuente: Elaboración propia

Tabla: 2.12 Agregados a emplear para el HAC

2% de residuos plásticos			
Material	UM	Densa	Semidensa
Polvo de piedra	Ton	468.73	285.97
Granito 3/8"	Ton	298.08	363.74
Granito 3/4"	Ton	-	155.52
Plástico	m ³	9.85	10.34

Fuente: Elaboración propia

Tabla: 2.13 Agregados a emplear para el HAC

3% de residuos plásticos			
Material	UM	Densa	Semidensa
Polvo de piedra	Ton	468.73	285.97
Granito 3/8"	Ton	298.08	363.74
Granito 3/4"	Ton	-	155.52
Plástico	m ³	14.77	15.51

Fuente: Elaboración propia

Para la construcción de este vial, al emplear HAC modificado con polímeros en porcentajes del 1%, 2% y 3% se ahorran alrededor de 5m³, 10m³ y 15m³ de áridos naturales respectivamente, lo que ayuda a mitigar el impacto ambiental que provoca la extracción de los mismos en canteras. Además, se les daría un uso alternativo a



los residuos plásticos. Lo que puede constituir un impacto positivo al cuidado del medio ambiente. Por lo tanto, se puede inferir que emplear residuos plásticos para la conformación de mezclas asfálticas en el municipio Holguín, puede proporcionar capas de rodadura resistentes y duraderas en pavimentos flexibles, cumpliendo con los requerimientos técnicos que se establecen en las normativas y la calidad de los trabajos de construcción.

De acuerdo con el volumen de residuos PEAD y PET reciclados en la provincia se podrían realizar entre 1,2 km, 1,8 km y 3,6 km de pavimento flexible mensualmente para las dosificaciones de mezclas mostradas en las tablas 2.9 y 2.10.

A partir del análisis que se realiza en este capítulo se puede arribar a las siguientes conclusiones.

Conclusiones parciales

- El estado actual de los viales en el municipio Holguín no está en buenas condiciones, más del 70% del mismo no presenta una capa de rodadura en condiciones óptimas para ofrecer una cómoda circulación.
- En el municipio Holguín, la Empresa de Materias Primas recolecta alrededor de 145 000 m³ de residuos plásticos al año, de ellos se recuperan aproximadamente 36m³ de PET y 42m³ de PEAD.
- El diagnóstico del volumen de plástico triturado como parte de los residuos sólidos, así como la situación de los viales en el municipio Holguín, permiten la posibilidad de emplearlos como variantes alternativas de sustitución por un porcentaje de árido fino para la fabricación de mezclas asfálticas.
- A partir de las semejanzas de los áridos que emplea Aicamaña con los procedentes de la Cantera 200 Mil se proponen nueve dosificaciones de sustitución de porcentajes de residuos plásticos por áridos finos a razón de 1,0%, 2,0% y 3,0% del peso total de los áridos, tanto para mezclas asfálticas en caliente densas y semidensas.



- La alternativa de emplear los residuos plásticos PET y PEAD en mezclas asfálticas permite ahorrar entre 5m^3 y 15m^3 de material natural por cada kilómetro de carreteras con características similares a la expuesta en el capítulo. Lo que evidencia un impacto positivo al medio ambiente, pues se reduce la explotación de canteras y permite emplear estos residuos de difícil degradación en la construcción de viales.



CONCLUSIONES GENRALES

1. A partir del análisis de la revisión bibliográfica se pudo constatar que este tema es incipiente a nivel nacional, no así en el ámbito internacional, donde se demuestra que los residuos plásticos presentan buenas propiedades para su utilización en mezclas asfálticas, pues mejoran sus propiedades técnicas.
2. Se pudo constatar, que de los métodos de incorporación de los residuos plásticos a las mezclas asfálticas son: adición y sustitución, éste último presenta mejores resultados cuando la sustitución, por parte del árido fino, se encuentra entre el 1.0% al 3.0%.
3. A partir de las dosificaciones de sustitución de los residuos plásticos (PET y PEAD) por parte del árido fino entre el 1,0% y el 3,0% (con respecto al peso total de los áridos) planteadas en las investigaciones antecedentes y la disponibilidad de estos residuos en la provincia, se pueden emplear entre 5m³ y 15m³ de estos materiales de difícil degradación por cada kilómetro de longitud de vial y por consiguiente se disminuye el volumen de recurso natural proveniente de la corteza terrestre, aportando así una solución al cuidado del medio ambiente y demuestra la veracidad de la hipótesis planteada.



RECOMENDACIONES

Al departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín

1. Dar continuidad a esta investigación con la realización de ensayos a mezclas asfálticas teniendo en cuenta las propuestas de dosificación, planteadas en este trabajo.
2. Investigar cómo se puede implementar en las plantas de mezclas asfálticas del país, con los medios disponibles, la incorporación de residuos plásticos como agregado fino en dichas mezclas.
3. Realizar estudios de factibilidad técnica – económica a partir de la implementación de estos residuos en las mezclas con respecto a las mezclas tradicionales.



BIBLIOGRAFÍA

Aimacaña, J., (2017). Estudio comparativo del comportamiento a compresión de pavimentos asfálticos a base de polímeros y pavimentos flexibles tradicionales.

Angumba, P., (2016). Ladrillos elaborados con plástico reciclado (PET), para mampostería no portante.

Archila, A., Aparicio, M. (2018). Impactos ambientales derivados del proceso de pavimentación de vías de transporte en Colombia.

Balbin, M., Enriquez, R. (2020). Influencia de la mezcla asfáltica modificadas con polímeros en zonas cálidas de Perú.

Coll, Maritza (2003). Diseño y construcción de pavimentos.

Cuadrado, C., (2016). Mezclas asfálticas a partir de residuos de neumáticos y escorias siderúrgicas.

Forigua, J., Pedraza, E., (2014). Diseño de mezclas asfálticas modificadas mediante la adición de desperdicios plásticos.

García, R. (2005), Residuos plásticos: técnicas de tratamiento y valorización.

Hernández, K. (2017). Producción de bloques huecos de hormigón con residuos plásticos de la fábrica de tubos de Holguín.

Íñiguez, M., (2019). Estudio de la contaminación marina por plásticos y evaluación de contaminantes derivados de su tratamiento.

Leyva, R., (2018). Diseño de Hormigón Asfáltico Caliente Mezcla Semidensa Materiales Empleados Cantera 200 mil.

Metaute, D., Casas, D., (2009). Desarrollo de una mezcla asfáltica utilizando residuos plásticos.

Mónico, M. (2014). Embace plástico contaminación e impacto ambiental.

Monturiol, M., (2019). Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas modificadas con PET.

Muñoz, L. (2012). Estudio del uso del polietileno tereftalato (PET) como material de restitución en suelos de baja capacidad de carga.



FACULTAD DE INGENIERIA
DPTO. DE CONSTRUCCIONES

NC 253:2005. Carreteras-Materiales bituminosos-Hormigón Asfáltico caliente-Especificaciones.

NC 261: 2005. Determinación del contenido óptimo de asfalto empleando el equipo Marshall.

NC 261: 2005. Determinación del contenido óptimo de asfalto empleando el equipo Marshall.

Orta, P., (2008). Tecnologías de pavimentación de carreteras.

Pacheco, L., Marcelo, A. (2019). Promoviendo la reducción de bolsas plásticas en el mercado para contribuir en la mitigación de la Contaminación Ambiental y generar cambios de conducta frente al medio ambiente.

Rodríguez, P., (2013). Procedimiento para el perfeccionamiento del manejo ambiental de los desechos plásticos.

Tamayo, D., (2020). El vidrio triturado como alternativa en la producción de materiales de construcción

Valer, P., (2020). Mejoramiento en el Diseño de un Pavimento Rígido Incorporando Fibras de Plástico PET Reciclado.



ANEXOS:

Anexo 1:

Consejos Populares	Vías (km)	Asfaltadas (km)	No asfaltadas (km)	Asfaltadas en buen estado (km)	Asfaltadas en buen estado (%)
Aguas Claras	35.59	16.27	19.32	14.78	41.5
Alcides Pino	58.7	10.43	48.27	6.53	11.1
Alex Urquiola	41.33	22.93	18.4	16.61	40.2
Distrito Lenin	75.69	24.3	51.39	19.42	25.7
Edecio Pérez	74.18	16.94	57.24	16.94	22.8
El Purial	62.9	9.8	53.1	7.7	12.2
Harlem	40.79	23.06	17.73	12.43	30.5
La Yuraguana	27.02	0	27.02	0	0.0
Pedernales	64.83	26.25	38.58	19.3	29.8
Pueblo Nuevo	70.42	26.09	44.33	21.88	31.1
Purnio	69.16	10	59.16	10	14.5
San Rafael	62.51	13.51	49	10.61	17.0
Vista Alegre	58.74	28.11	30.63	21.8	37.1
Yareyal	68.07	10.2	57.87	10.2	15.0
Zona Industrial	51.25	28.98	22.27	23.53	45.9
Centro C. Norte	37	34.95	2.05	25.24	68.2
Centro C. Sur	33.46	32.11	1.35	30.09	89.9
La Cuaba	24	3.45	20.55	3.45	14.4
Pedro D. Coello	60.7	39.53	21.17	37.16	61.2
San Andrés	100.4	15.92	84.48	3.43	3.4
Sao Arriba	32	3	29	3	9.4
Total	1148.74	395.83	752.91	314.1	27.3