

Análisis de Mezcla Asfáltica Incorporando Neumático Pulverizado

*Joenid M. Rodríguez Ortiz
Maestría en Ingeniería Civil
Carlos González, Ph.D.
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

Resumen — *La prohibición de disponer neumáticos en los vertederos ha dado inicio a la formación de vertederos clandestinos y como consecuencia la alta incidencia del dengue en la isla. Adicional a esto pavimentos deteriorados y neumáticos de los automóviles rotos son la orden del día. Buscando soluciones viables a dicha problemática, en los Estados Unidos, se han diseñado mezclas asfálticas utilizando neumático pulverizado. Sin embargo la implantación de éste método no solamente debe estar enfocado en la utilización del neumático. También su uso debe cumplir con los estándares y especificaciones emitidos por las agencias Gubernamentales y Federales de carreteras. A continuación se presenta el análisis del primer proyecto de construcción de pavimento utilizando goma pulverizada en Puerto Rico.*

Términos Claves — *Asphalt Rubber Mixture (mezcla de asfalto con goma pulverizada), Crumb Rubber Material (goma pulverizada), Gap-Graded (ausencia de material de tamaño intermedio en su estructura de agregados), FHWA (Administración Federal de Carreteras).*

INTRODUCCIÓN

Por sus propiedades elásticas y su resistencia al desgaste, desde varios años el neumático ha sido uno de los materiales más utilizados. Ha contribuido grandemente como material para el control de erosión, como material de absorción en vertederos, agregado, como barrera de seguridad y barrera de sonido. Sin embargo también representa uno de los materiales más difíciles de manejar en términos su disposición y reciclaje. En Puerto Rico alrededor de 4 millones de neumáticos cada año son desechados, provocando problemas ambientales, a la salud y la seguridad de los ciudadanos [15]. En la búsqueda de alternativas sustentables el Gobierno

de Puerto Rico, firmó la ley 41 de 20 de julio de 2009 “Ley para el manejo adecuado de neumáticos de Puerto Rico” [9]. Para promover el manejo adecuado de los neumáticos y dar origen a la orden número 18 serie 2009-2010, la cual establece un proyecto piloto para la construcción de la primera carretera verde de Puerto Rico [6].

Alrededor de 220 millones de libras de goma triturada equivalente a 12 millones de neumáticos son consumidos para la construcción de los pavimentos en el estado de Arizona [5]. Basado en los estudios de diseño y los métodos de construcción establecidos por el Departamento de Transportación de Arizona, el 17 y 18 de noviembre de 2009, en Puerto Rico, se construyó una sección de pavimento con *Asphalt Rubber Mixture*.

El tramo de carretera construida con la mezcla modificada está localizado en la carretera PR-10 en dirección de Ponce hacia Adjuntas (Figura 1). La sección de aproximadamente 600 m consiste de 2 carriles, paseo interno y paseo externo. En dicha construcción se utilizaron 4,000 neumáticos pulverizados comprendiendo unos 11.50 metros transversales [2].



Figura 1
Localización de Sección Pavimento Proyecto Piloto PR-10
[17]

El diseño de la mezcla fue desarrollado por Western Technologies, una compañía consultora de científicos e ingenieros. Utilizando las propiedades, densidades, especificaciones del estado de Arizona [11]. La producción, colocación y compactación de la mezcla fue realizada por la compañía Robles Asphalt Corp., compañía puertorriqueña constructora. Durante los últimos años la sección de la carretera PR-10, ha sido monitoreada para verificar el comportamiento y desempeño de la mezcla bajo las condiciones ambientales y físicas de Puerto Rico. En este trabajo investigativo se pretende verificar el desempeño sustentable de la mezcla utilizando *Crumb Rubber Material* para la construcción de los pavimentos.

REVISIÓN DE LITERATURA

El neumático pulverizado es utilizado como material de agregado para modificar las propiedades de la mezcla de asfalto en la construcción de los pavimentos. Algunos de los beneficios del uso de goma en la mezcla de asfalto para pavimentos son:

- Aumenta la vida útil de la superficie del pavimento
- Reducir el mantenimiento
- Rentabilidad a largo plazo
- Bajo ruido de la carretera
- Cortas distancias de frenado, permite una mayor adherencia del vehículo a la vía de rodaje
- Durabilidad
- Espesores menores al convencional
- Términos ambientales

METODOLOGÍA

Descripción

La inversión del proyecto utilizando *Asphalt Rubber Mixture* en la sección de la PR-10, fue de \$300,000. El proyecto fue elaborado por la compañía Robles Asphalt Corp., aplicando los estándares de diseños desarrollados en proyectos anteriores en Arizona. En dicha sección fueron

depositadas unas 1,000 toneladas de *Asphalt Rubber Mixture*, de las cuales 110,000 libras de la mezcla consistieron de *Crumb Rubber Material*.

Tipo de Mezcla

La mezcla utilizada para incorporar la goma pulverizada es del tipo *Gap-Graded* (Figura 2). Se selecciona este tipo de mezcla ya que provee mayor porcentaje de vanos en el agregado mineral, además es más gruesas que las mezclas regulares. Este tipo de mezcla (*Gap-Graded*), permite el porcentaje de asfalto mucho mayor a los de las mezclas Marshall y Superpave, por lo que se puede disponer de una mayor cantidad de goma triturada [2]. Según la FHWA, generalmente en el estado de Arizona los espesores de mezcla modificada están entre 1 a dos pulgadas, con estos espesores se han reportado aumentos en la durabilidad y la resistencia al agrietamiento del pavimento [12]. Como la compañía Robles Asphalt Corp., encargada de la producción y depósito de la *Asphalt Rubber Mixture*, no tenía el equipo ni el material Hydrated Lime, el mismo no fue incorporado en la mezcla. El Hydrated Lime es un aditivo que se utiliza para la durabilidad del pavimento es responsable de mitigar el daño producido por la humedad. En su lugar se utilizó Adhere 64-16 un agente liquido/químico para reducir la susceptibilidad a la humedad [2].

Crumb Rubber Material

La materia prima (neumático triturado) proveniente de gomas de vehículos, llega a la planta

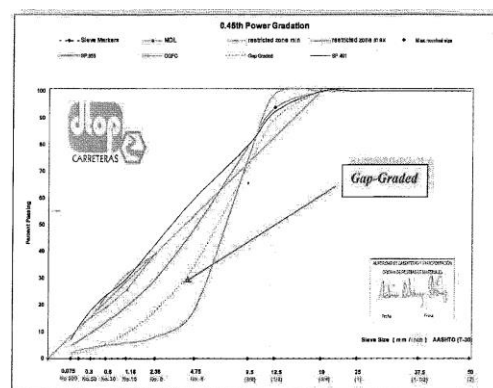


Figura 2
Gradación de la Mezcla [2]

productora con una forma de aproximadamente 6 pulgadas cuadradas. Luego es triturado a un tamaño pequeño con un 100% pasando el tamiz No. 8 [2]. Este producto final se denomina *Crumb Rubber Material*. La goma es triturada hasta este pequeño tamaño para que reaccione con mayor rapidez y produzca viscosidades más altas debido a su mayor área superficial. En el proyecto piloto realizado en la PR-10, la materia prima provino de una planta de Estados Unidos [10]. Luego de ser triturado el material resultante es almacenado en sacos de 2,000 lb. (Figura 3). Este material debe mantenerse seco para evitar que luego se formen espumas al ser mezclado con el cemento asfáltico.

Aglutinante

Siguiendo las normas de AASHTO M320S el asfalto líquido utilizado para mezclarse con *Crumb Rubber Material* es el mismo utilizado convencionalmente.[2]. El contenido de aglutinante típicamente utilizado en las mezclas *Gap-Graded* en el estado de Arizona, es de un 6.5 a 8.5 por ciento del peso total de la mezcla. [12]. En este proceso de un 18% a 25% de *Crumb Rubber Material* es mezclado con el asfalto líquido antes de añadir el aglutinante a los agregados. En la mezcla diseñada para la construcción de la sección de pavimento en la PR-10 se utilizó un 23.5% de *Crumb Rubber Material* para un 19.5% de *Asphalt Rubber Binder* [10].



Figura 3
Almacenaje de Goma Triturada [13]

El asfalto líquido y el *Crumb Rubber Material* es depositado en tanques creando una mezcla homogénea producto de una reacción a altas temperaturas, a este proceso se le denomina el método húmedo (*wet*) (Figura 4). El tiempo de mezcla es llevado a cabo dentro de unos 45 minutos a dos horas, lo que permite que el asfalto líquido alcance una temperatura de 330 a 400 grados F [10]. Durante el trascurso las partículas de goma no se funden en el cemento de asfalto, si no que debido a la alta temperatura de la fase oleosa del asfalto las partículas tienden a hincharse de dos a tres veces. También produce que la mezcla sea más viscosa por la reducción de espacio que queda entre partículas [12]. Este nuevo producto de mezcla de asfalto líquido con goma pulverizada es mezclado luego con los agregados.

Calidad de la Mezcla

Para asegurar la calidad del producto final el tamaño de las partículas y la velocidad en que se añade el neumático (*Crumb Rubber Material*), la temperatura de la mezcla, el tiempo de mezclado y reacción debe ser verificado continuamente [13]. La temperatura al momento de mezclar el asfalto y el caucho es muy importante, ya que afecta el proceso de interacción. Cuando la temperatura aumenta también lo hace la velocidad y el grado de hinchamiento de las partículas de caucho. El proceso de colocación de la mezcla final en la superficie de pavimento, es similar al que se utiliza en las mezclas de asfalto convencional. La mezcla debe ser colocada solo cuando temperatura de la superficie este cálida y las condiciones ambientales sean óptimas. Según el Departamento de Transportación de Arizona, la temperatura ideal para colocar la mezcla es de 80°F [12].



Figura 4
Mezcla de Goma Triturada con Asfalto Líquido (Binder) [13]

Depósito de Asphalt Rubber Mixture

En términos de maquinaria es similar a la utilizada en las mezclas convencionales, sin embargo al compactar es preferible utilizar máquina con ruedas de acero y no compactadoras de neumáticos ya que parte del material es removido por las ruedas de caucho [13].

BENEFICIOS DE LA MEZCLA DE ASFALTO CON GOMA PULVERIZADA

Términos Ambientales

Aproximadamente en Puerto Rico, se producen más de 18,000 neumáticos diarios, de estos unos 4.7 millones son desechados anualmente [8]. Según estadísticas recopiladas por la Autoridad de Desperdicios Sólidos (ADS), durante los meses de enero a noviembre de 2013, el 0.6% de los neumáticos desechados por industrias fueron utilizados en reciclaje, un 21% en energía y un 78.4% fueron exportados (figura 5). Adicional a esto la problemática existente de una baja demanda de neumáticos recauchutados. Dentro del uso de la *Asphalt Rubber Mixture* para la construcción de pavimentos, existe la inquietud del posible reciclaje del material una vez removido del pavimento. Según estudios realizados por la FHWA, en los Estados Unidos, varios proyectos que fueron pavimentados utilizando goma pulverizada se han utilizado como material de reciclaje para la construcción de otros pavimentos.



Figura 5

Estadísticas de Neumáticos Desechados por Industrias en PR [8]

Aproximadamente la mitad de estos proyectos eran de proceso húmedo (utilizado en la PR-10) y la otra mitad eran proceso seco (agregados son mezclados con *Crumb Rubber Material* antes de ser incorporado al asfalto líquido). De los resultados se encontró que no existe problema físico con el reciclaje de pavimento de asfalto recuperado que contenga *Crumb Rubber Material*, y puede ser utilizado como una parte del agregado en una nueva mezcla de pavimentación de asfalto [7]. Existe limitada información relacionado a las emisiones atmosféricas de las plantas de asfalto de mezcla caliente con *Crumb Rubber Material*. En junio del 1993, la FHWA y la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA), reportó en el “estudio del uso de materiales reciclados para la construcción de pavimentos”, que las emisiones generadas por la producción de la mezcla de asfalto con goma triturada representan las mismas emisiones producidas por las mezclas de asfalto convencional, hasta el momento no existe reporte que haya demostrado lo contrario [13]. Sin embargo siendo la salud y la seguridad de los trabajadores una necesidad de estudio es un área de trabajo que se continúa analizando.

Durabilidad

Siempre y cuando el pavimento de *Asphalt Rubber Mixture*, este diseñado y construido correctamente se espera que dure hasta un 50% más que los pavimentos con materiales convencionales. Estudios del Departamento de Transportación de Estados Unidos, y la Rubber Pavement Association, indican que la mezcla *Gap-Graded* utilizada con la goma triturada reduce la fatiga y la reflexión de grietas por la continua repetición de cargas en el pavimento (figura 6). El material final es seguro, resistente al deslizamiento y se ha encontrado que hay una reducción de sonido generado por las gomas en la vía de rodaje [5]. Los productos químicos contenidos en el neumático retardan el envejecimiento, la oxidación del asfalto. Debido a la flexibilidad de la goma, previene que el pavimento se vuelva quebradizo y se agriete. Siendo las grietas la causa de permitir la entrada del

agua y las presiones en las sub-superficies, creando agujeros y el deterioro de la superficie de rodaje. Las mezclas de *Asphalt Rubber Mixture* que consisten de *Gap-Graded* pueden resistir considerablemente mayor deflexión utilizando el mismo espesor de las mezclas de asfalto convencional con *Dense-Graded* sin agrietarse [12].

Rentabilidad

En comparación con los pavimentos de mezclas convencionales, las mezclas de asfalto con neumáticos se puede utilizar en grosores reducidos. Algunos casos el espesor es reducido a la mitad resultando en un ahorro de los costos por material. También por la durabilidad resultante representa una reducción en los costos de mantenimiento y vida útil del pavimento. Una de las ventajas del *Asphalt Rubber Mixture* es que puede ser depositado en mayores cantidades de yardas cuadradas comparado con el método tradicional sin afectar los problemas de escorrentías. Según la referencia [14] generalmente las mezclas de asfalto convencional son colocadas en los E.U., en cantidades de 0.35 a 0.45 gal/yd² mientras que el asfalto con goma pulverizada es colocado en cantidades de 0.5 a 0.75 gal/yd², lo que favorece a una reducción de tiempo de construcción del pavimento.



Figura 6
Arizona después de 8 Años de Rendimiento Izquierda
Asfalto Convencional, Derecha Asfalto de Caucho
Modificado [3]

En reportes emitidos por la *FHWA*, el costo de la mezcla modificada es de un 15 a un 70 por ciento más que las mezclas convencionales [12]. En Puerto Rico, el precio del *Asphalt Rubber Mixture* en planta es de \$135 a \$150 por tonelada, el precio de la materia prima (*CRM*) es aproximadamente \$0.26/lb y el precio de la mezcla de asfalto convencional en planta es de \$80 a \$90 dólares por tonelada [16].

PRUEBAS DE MONITOREO REALIZADAS A LA SECCIÓN DE PAVIMENTO EN LA PR-10

Como parte de los trabajos de investigación y evaluación de la sección de pavimento en la PR-10, la Autoridad de Carretera y Transportación de Puerto Rico, ha estado realizando varias pruebas de monitoreo para determinar el comportamiento del pavimento construido con *Asphalt Rubber Mixture*.

Pruebas de Sonido

La Administración Federal de Carreteras, ha establecido que para que una duplicación de un nivel existente de sonido sea percibido por el ser humano se debe generar un aumento de 10DBA. Como parte de las pruebas de monitoreo realizadas en la sección de pavimento de la carretera PR-10, se instalaron dos sonómetros a cinco pies del borde de la carretera (uno en pavimento con mezcla regular y el otro en la mezcla modificada), para verificar el sonido generado a causa de la interacción de gomas de los vehículos con el pavimento. Las lecturas fueron tomadas a cada hora por un periodo de 24 horas. De los resultados se obtuvo una diferencia de sonido de 1.7DBA, entre el pavimento con mezcla de asfalto de goma triturada y asfalto convencional [2]. La escala de medición A, fue utilizada la cual se asemeja a la respuesta del oído humano al sonido. Se encontró que existe una reducción de sonido, sin embargo como la diferencia en decibel fue menor de 10DBA, no es perceptible al oído humano (tabla 1). La causa exacta de la reducción de sonido producida por la presencia de la partícula de caucho en la mezcla de asfalto aun no ha sido identificado. Investigadores creen que se debe a la

presencia de los vacíos de aire que contribuyen a las reducciones de las emisiones de sonido en el pavimento.

Propiedades de Fricción Dinámica

Para garantizar la seguridad de los usuarios en las vías de rodaje la Autoridad de Carreteras y Transportación de Puerto Rico, requiere unos valores mínimos de fricción de micro textura de los agregados, esto valores son medidos por la prueba Polish Stone Value (PSV). La Oficina de Gerencia de Pavimentos adscrita a la ACT, se encargó de las pruebas de fricción realizadas al pavimento construido con *Asphalt Rubber Mixture* utilizando el locked-wheel-trailer. Basado en la experiencia de la seguridad de los pavimentos en Puerto Rico, la ACT ha determinado que valores mayores de 40 en la prueba de fricción son adecuados para todo tipo de carretera [2]. Valores menores requieren mayor monitoreo, acciones inmediatas para incrementar el valor y reducir la probabilidad de accidentes en la zona. La fricción superficial del pavimento fue monitoreado desde diciembre de 2009 [1]. De los resultados obtenidos en las primeras pruebas el valor de la fricción reflejó un promedio de 30. Al inicialmente resultar valores de fricción menores a los establecidos por la ACT y para mantener la seguridad en la vía de rodaje, se incrementó la frecuencia de las pruebas mensualmente (figura 7). Finalmente se pudo observar que a través del tiempo el valor de la fricción a su vez aumentó, esto como producto a la capa asfáltica mayor en las mezclas *Gap-Graded*.

Tabla 1
Resultados Pruebas de Sonido [2]

ID	Descripción	L_{eq} (dBA)	L_{max} (dBA)	L_{min} (dBA)
A	Sonómetro colocado en la mezcla de asfalto regular	77.1	111.5	51.6
B	Sonómetro colocado en la mezcla de asfalto con goma triturada	75.4	114.3	51.6

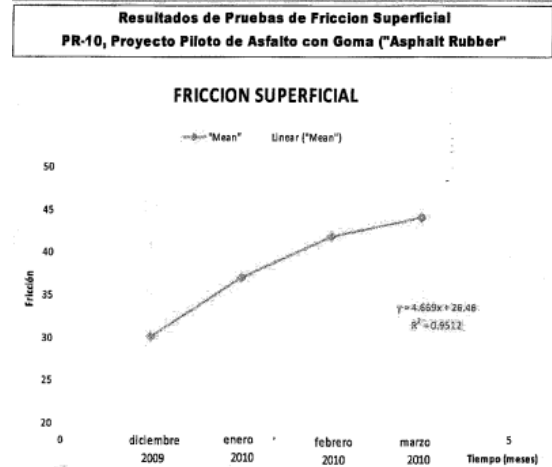


Figura 7
Resultados Pruebas de Fricción [2]

Pruebas de Susceptibilidad de las Mezclas a la Humedad (AASHTO T-283)

Luego de realizar el depósito y la compactación del *Asphalt Rubber Mixture*, la Oficina de Pruebas de Materiales adscrita a la ACT, extrajo dos muestras (cores), de 4 y 6 pulgadas de diámetros, para realizar pruebas de susceptibilidad. Se obtuvieron valores menores a los establecidos en la etapa de diseño creando una preocupación para la ACT, lo cual podría ser un precedente para la reducción de la vida útil en la sección de prueba [2].

DESVENTAJAS DE LA MEZCLA CON GOMA PULVERIZADA

Actualmente el uso de la mezcla de asfalto con goma pulverizada en la construcción de los pavimentos en Puerto Rico, es más costoso debido a la poca demanda que existe [10]. La industria local no cuenta con el equipo ni las plantas procesadoras para el manejo y producción de la mezcla modificada. Tampoco poseemos personal adiestrado realizar las pruebas a las muestras del pavimento modificadas extraídas, las mismas fueron enviadas a laboratorios en Arizona [2]. Adicional nuestro país no cuenta con variedad de contratistas experimentados [4]. Todos estos factores finalmente se ven reflejados en el costo final del producto.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la investigación realizada se encontró que existe una variedad de aplicaciones de diseños y métodos para el reciclado de los neumáticos. Sin embargo actualmente carecemos de políticas que favorezcan la implantación de industrias y contratistas en Puerto Rico, dedicadas a eliminar o recuperar de forma limpia los componentes de los neumáticos. Adicional a esto la problemática actual de la baja demanda de neumáticos recauchutados, crea un incremento de las disposiciones finales.

En términos de la elaboración del *Asphalt Rubber Mixture*, en la sección de la PR-10, se observó que cumplió los requisitos técnicos según establecido en los diseños. En cuanto a la apariencia del producto final si no es bien colocado pudiese no proporcionar un acabado agradable ya que la mezcla *Gap-Graded* carece de agregados finos, para que esto no ocurra debe ser instalado por mano de obra experimentada.

En los resultados de las muestras de monitoreo realizados por la Autoridad de Carreteras y Transportación, se encontró que la mezcla de goma pulverizada se comporta y se compara favorablemente a la mezcla de asfalto *Superpave*, mezcla típicamente utilizada en las construcciones de vías con tráfico intenso en P.R. [2]. De la prueba de fricción los valores inicialmente obtenidos no fueron aceptables por la agencia, sin embargo al transcurrir el tiempo fue cumpliendo con los estándares. Estos valores pudiesen ser como consecuencia de la microtextura del agregado, temperatura, condiciones climáticas al momento de ser colocada.

Por otro lado los valores de la prueba de susceptibilidad AASHTO-283, fueron bajos estos resultados pueden haberse generado por la ausencia en la mezcla del Hidrated Lime, lo cual pudiera representarse en el futuro como grietas y fallas en el pavimento. Adicional se ha experimentado que por la rigidez de la mezcla generalmente requiere mayor compactación que las mezclas convencionales, esto es otro factor que contribuye a los altos costos de la mezcla. Si se promedia el

costo de la *Asphalt Rubber Mixture* en Puerto Rico, a un precio de \$142.5/ton y el precio de la mezcla convencional a un \$85/ton, este representa que en Puerto Rico, la mezcla modificada es un 40.35% más cara que las mezclas convencionales.

CONCLUSIÓN

Del estudio se demostró que en términos técnicos el uso de la mezcla de asfalto utilizando goma pulverizada es viable. Se demostró que el desempeño del pavimento en el de campo y laboratorio con *Asphalt Rubber Mixture* aumenta comparado con las mezclas tradicionales. Esto pudiese ser debido a la característica elástica que posee la partícula de neumático y la resistencia a altas temperaturas que se producen a diario. Esta propiedad promueve la reducción de agrietarse como generalmente ocurre en los pavimentos construidos con mezclas regulares. Sin embargo en términos económicos esta mezcla no es viable para utilizar en vías rurales poco transitadas por sus altos costos iniciales.

El neumático entero o triturado tiene una diversidad de usos como se estableció en este análisis. Además de ser beneficioso para la construcción de carreteras también se puede emplear en la construcción de barreras, en los vertederos, pistas deportivas, en la fabricación de bloques, muros, etc. Es importante establecer reglamentos en las agencias del gobierno para que se realicen construcciones de pavimentos utilizando mezcla de asfalto con neumático pulverizado. No podemos olvidar que la biodegradación de un neumático tarda entre 500 a 3,000 años. Como se demostró en Puerto Rico, diariamente se desechan 18,000 neumáticos. Esto por varias razones como; la alta cantidad de vehículos en la carretera y la gran cantidad de pavimentos deteriorados.

Aunque inicialmente los costos de la construcción del pavimento utilizando *Asphalt Rubber Mixture* son onerosos, a largo plazo la rentabilidad, la calidad y la durabilidad del producto compensa la inversión. Adicional se encontró que el diseño de la mezcla permite

depositar una mayor cantidad de goma pulverizada. Por lo que contribuye a una disminución en la epidemia de dengue por la acumulación de agua en los neumáticos depositados en vertederos clandestinos.

RECOMENDACIÓN

Sugiero se continúen los proyectos de construcción de pavimento utilizando *Asphalt Rubber Mixture*, donde se pueda recopilar información suficiente para evidenciar y certificar la viabilidad de la mezcla bajo las condiciones climáticas y tráfico de Puerto Rico. También diseñar mezclas de asfalto modificado utilizando diferentes tipos de granulometrías. Mantener las pruebas de monitoreo en la sección de la PR-10 y utilizar estos resultados para determinar la vida útil del pavimento utilizando la mezcla de goma triturada en comparación con la mezcla tradicional. Finalmente si se continúa realizando construcciones de pavimento utilizando la mezcla modificada a la vez servirán para adiestrar a los contratistas y obreros puertorriqueños.

REFERENCIAS

- [1] Díaz Carrasquillo, P. E., MSCE “Datos de Proyecto con Goma Triturada”, *Área de Programación y Estudios Especiales, Oficina de Gerencia de Pavimentos, Autoridad de Carreteras y Transportación*, Entrevista, 27 de marzo de 2014.
- [2] Autoridad de Carreteras y Transportación, “Informe Técnico, Proyecto Piloto-Mezcla Asfáltica Incorporando Goma Triturada (CRUMB RUBBER)”, *Departamento de Transportación y Obras Públicas*, 4 de junio de 2010, pp. 2-12.
- [3] Amirkhanian S., et al., “Utilization of Recycled Tires in Hot Mix Asphalt”, *Clemson University, SC, USA Journal Environmental Management, Sustainable Development and Human Health*, 2009, pp. 468-469.
- [4] Borrero, J. H., et al., “Gomas Trituradas: Estado del Arte, Situación Actual y Posibles Uso Como Materia Prima en Puerto Rico”, *Journal*, Vol. 5 No. 1, 2005, pp. 9-12.
- [5] U.S. Environmental Protection Agency, “Ground Rubber Applications”, *Waste-Resource Conservation-Common Wastes & Materials*, 2 de agosto de 2013. Recuperado en 2 de abril de 2014 de <http://www.epa.gov/osw/conserva/materials/tires/ground.htm>, último acceso.
- [6] Maldonado, Y. A., “Proyecto de Administración”, *Legislatura Municipal Gobierno Municipal Autónomo de Ponce*, Ordenanza número 18 serie de 2009-2010, pp. 1-3.
- [7] United State Department of Transportation, “User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction”, *FHWA-RD-97-148*, 23 de marzo de 2012. Recuperado el 30 de marzo de 2014, en <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/st2.cfm>, último acceso.
- [8] Carbó Lugo, A., “Manejo de Neumáticos”, *Autoridad de Desperdicios Sólidos*, 2013. Recuperado el 27 de marzo de 2014, en <http://www.ads.pr.gov/programas/neumaticos/>, último acceso.
- [9] LexJuris Puerto Rico, “Ley para el Manejo Adecuado de Neumáticos de Puerto Rico, Ley Núm. 41 del año 2009”, Recuperado el 22 de marzo de 2014, en <http://www.lexjuris.com/lexlex/Leyes2009/lexl2009041.htm>, último acceso.
- [10] Estrada M., “Diseño y Control de Calidad”, *Supervisor Oficina de Proceso Diseño de Mezclas*, Robles Asphalt Corp., Entrevista, 26 de marzo de 2014.
- [11] Kaloush Kamil E., et al., “Laboratory Performance Evaluation of a Gap-Graded Asphalt- Rubber Mixture in Puerto Rico”, *Journal*, Arizona State University & Rubber Pavements Association, 2009, pp. 2-4.
- [12] Hicks R. G., et al., “Crumb Rubber Modified in Asphalt Pavements”, *Reporte Técnico No. FHWA-SA-95-056*, pp. 18, 27, 34, 45.
- [13] Rubberized Asphalt Concrete, “Production and Construction Guide”, *Integrated Waste Management Board*, RAC-104, pp. 2-12.
- [14] Stroup-Gardinaer, M., “Cost Factor” *Section 6.0*, University of Minnesota, pp. 9-11.
- [15] Autoridad de Desperdicios Sólidos, “Reglamento Establecimiento el Cargo de Manejo y Disposición de Neumáticos y las Tarifas para la Transportación, Procesamiento, Exportación, Instalaciones de Uso Final y Reciclaje de Neumáticos Desechados en Puerto Rico”, *Gobierno de Puerto Rico*, 2010, pp. 2-4.
- [16] Robles Rivera, Y., “Solicitud información goma triturada”, *Gerente de Proyecto*, Robles Asphalt Corp., Entrevista, 29 de abril de 2014.
- [17] NOAA, et al., “Google Earth 2014”, Recuperado el 27 de abril de 2014, de <http://www.google.es/intl/es/earth/index.html>, último acceso.