

**UNIVERSIDAD METROPOLITANA  
ESCUELA GRADUADA DE ASUNTOS AMBIENTALES  
SAN JUAN, PUERTO RICO**

**EVALUACIÓN SOBRE EL IMPACTO DEL USO DE CAUCHO TRITURADO  
COMO RELLENO ALTERNO EN UN PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL**

Requisito parcial para la obtención del Grado de Maestría en Ciencias en  
Gerencia Ambiental en Manejo de Evaluación y Riesgo Ambiental

Por  
Julio González Fortuño

14 de Mayo 2008

---

Julio González Fortuño

© 2008

Derechos Reservados

## **DEDICATORIA**

*Dedico este estudio a todo  
ser humano que día a día  
se levanta a luchar  
por su vida y el ambiente en que vive.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todo aquel que, de una manera u otra, ayudó a que culminara el grado de Maestría. En especial, tengo a bien darle mi mayor agradecimiento al comité de esta Tesis. Primeramente, a Rafael Toro Ramírez, quien me ayudó incondicionalmente en la preparación de esta Tesis, además de brindarme su apoyo profesional y moral. A Juan Carlos Musa, quien me impulsó durante todos estos años a través del Programa y no me dejó caer hasta llegar al final. A mi papá, Julio González Tolosa, quien, además de ser parte del comité de Tesis, siempre me apoyó durante todos mis estudios y mis años de desarrollo.

A mi hermano, Melvin González Fortuño, y a mi mamá, Lorraine Fortuño Morales, quienes en todo momento me han dado su apoyo en todos los obstáculos y logros de mi vida. Por último, y no menos importante, a mi novia, Evelyn González Vargas, quien me ha dado la fuerza necesaria y el apoyo sincero para cerrar la última puerta de este grado. ¡Un abrazo fuerte a todos!

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE APENDICES.....	x
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	
Trasfondo del problema.....	1
Problema de estudio.....	3
Justificación del problema.....	5
Pregunta de investigación.....	6
Metas.....	6
Objetivos.....	6
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA	
Trasfondo histórico.....	8
Marco conceptual.....	11
Síntesis de estudios anteriores.....	14
Marco legal ambiental.....	15
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	
Introducción.....	18
Área de estudio.....	18
Diseño Metodológico.....	19
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS	
Introducción.....	23
Comparación entre muestra de trasfondo y las muestras de suelo del proyecto.....	25
Comparación entre muestras de suelo del proyecto y el TCLP de Radian Corporation(RMA).....	26
Comparación entre muestras de suelo del proyecto y niveles de acción correctiva bajo estándares de RCRA.....	28
Comparación entre muestras de caucho triturado, muestras de suelo y muestra de trasfondo.....	29
Comparación entre muestras de caucho triturado y el TCLP de Radian Corporation.....	30

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Conclusiones.....	32
Recomendaciones.....	34
Limitaciones.....	36
LITERATURA CITADA.....	37

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1:	Componentes de acero (“Tire Wire”).....	42
Tabla 2:	Muestra de trasfondo (Lab Sample No. 08-1106).....	43
Tabla 3:	Muestra de suelo 1 (Lab Sample No. 08-1107).....	44
Tabla 4:	Muestra de suelo 2 (Lab Sample No. 08-1108).....	45
Tabla 5:	Muestra de suelo 3 (Lab Sample No. 08-1109).....	46
Tabla 6:	Caucho triturado - 01 (Lab Sample No. 08-1110).....	47
Tabla 7:	Caucho triturado - 02 (Lab Sample No. 08-1111).....	48
Tabla 8:	TCLP Radian Corporation.....	49
Tabla 9:	Niveles de accion bajo las acciones correctivas de RCRA.....	50

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Foto aérea de la sección en estudio.....	52
Figura 2.	Foto aérea-muestras de suelo.....	53
Figura 3.	Grafica de comparación de los resultados analíticos de Boro obtenidas de las muestras de suelo.....	54



## LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1:	ASTM D6270-98 (2004).....	56
Apéndice 2:	Exclusión categórica del proyecto.....	77
Apéndice 3:	Resultados analíticos de muestras de suelo y caucho triturado.....	82
Apéndice 4:	Cadena de custodia.....	91
Apéndice 5:	Fotos del proyecto.....	93
Apéndice 6:	Fotos de actividades de muestreo.....	99

## **LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS**

ACT - Autoridad de Carreteras y Transportación

ADS - Autoridad Desperdicios Sólidos

ASTM – American Society Testing Materials

DRNA - Departamento de Recursos Naturales y Ambientales

DTOP – Departamento de Transportación y Obras Públicas

EPA - Environmental Protection Agency

JCA - Junta de Calidad Ambiental

MCL - Maximum Contaminants Levels

RCRA - Resources Conservation and Recovery Act

RMA - Rubber Manufacturers Association

TC – Tire Chip

TDA - Tire-Derived Aggregate

TCLP – Toxicity Characteristics Leaching Procedures

## RESUMEN

Los neumáticos desechados en la Isla fueron un problema a finales del siglo 20, principios del siglo 21. Varias instalaciones de procesamiento y reciclaje se incendiaron, lo cual trajo como consecuencia una crisis en el manejo de los neumáticos desechados. En el año 1996, el gobierno de Puerto Rico reguló la disposición y reciclaje de los neumáticos desechados bajo la Ley 171 del 1996. El gobierno de Puerto Rico por medio de la Autoridad de Carreteras y Transportación junto a la Autoridad de Desperdicios Sólidos diseñaron el Proyecto de Estabilización y Mejora de Taludes de la Carretera Estatal PR-#52 desde el kilómetro 61.90 hasta su intersección con la carretera estatal PR-#53 del término municipal de Salinas. Este proyecto atendió el problema de almacenamiento de neumáticos triturados (caucho triturado) en el país en el que se utilizaron aproximadamente 1.4 millones de neumáticos como relleno alterno. Nuestro estudio evaluó la posible contaminación por metales pesados por el uso de caucho triturado en dicho proyecto. Analizamos varias muestras de suelo en el proyecto y varias muestras de caucho triturado en varios tamaños para ser comparados entre sí. Luego de obtener los resultados analíticos de las muestras de suelo y caucho triturado, las concentraciones de todos los metales pesados estuvieron por debajo de los niveles de detección con excepción del Boro. Aunque el Boro fue detectado, las concentraciones de éste fueron muy por debajo de los niveles de reglamentación de EPA para el Método de TCLP. Luego de esta evaluación, el uso del caucho triturado como relleno alterno en otros proyectos de ingeniería civil puede ser una solución ambientalmente segura y viable, siempre y cuando se sigan las prácticas recomendadas por el ASTM-6270 (98), reprobado en el 2004. El utilizar caucho triturado como relleno alterno conserva nuestros recursos naturales.

## ABSTRACT

The scrap tires rejected in Puerto Rico were a problem that bothered the island for ends of the century 20, principles of the century 21. Several installations of tire disposal and recycling were set on fire having as consequence a crisis in the management of the scrap tires. In the year 1996, the government of Puerto Rico regulated the disposal and recycling of scrap tire under the Law 171 of the 1996. The government of Puerto Rico through the Authority of Highways and Transportation and the Solid Waste Authority designed the Project of Stabilization and Improvement of Slopes of the State Highway PR-#52 since the kilometer 61.90 to the intersection with state highway PR-#53 of the municipal term of Salinas. This project attended the tire chip storage problem (rubber chips) in the island; approximately 1.4 million tires were used as alternate backfill in said project. Our study evaluated the possible contamination in the Project area by heavy metals from the use of tire chips. At the Project, several soil and tire chips samples in various sizes were obtained and analyzed; the results were compared among them. After obtaining the soil and rubber samples analytical results, the concentrations of all the heavy metals were under the levels of detection with exception of the Barium. Although the Barium was detected, the concentrations of this metal were found in trace comparing with the levels of regulation under EPA for the TCLP Method. After this evaluation, the use of the tire chips as an alternate backfill in other projects of civil engineering can be a viable solution and environmentally safe, following the ASTM D6270 (98), reproved in 2004. The use of tire chips as an alternate backfill save our natural resources.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### **Trasfondo del Problema**

Desde principios del siglo 20, los medios de transporte que utilizan neumáticos para su funcionamiento efectivo, se convirtieron en piedra angular del desarrollo social y económico tanto en Puerto Rico como a nivel global. La necesidad del crecimiento socio-económico y la movilización de personas, bienes y servicios se logran a través de un sistema de transporte eficiente. Como consecuencia directa de satisfacer esta necesidad, en Puerto Rico existen más de 2.3 millones de vehículos registrados que utilizan neumáticos (DTOP, 2007). Las condiciones deterioradas de las carreteras y el poco mantenimiento de los vehículos, ocasionan un mayor uso y desgaste de los neumáticos provocando que los mismos se cambien con una frecuencia promedio a razón de cada 18 a 24 meses o de 35,000 a 40,000 millas usadas (RMA, 2003). Este hecho provoca que se genere una cantidad promedio de 14,000 neumáticos desechados diarios en Puerto Rico (ADS, 2002), por lo que es necesario el desarrollo de un mecanismo para la disposición adecuada de éstos que se considere costo efectiva y ambientalmente viable.

Más aún, el problema de los neumáticos desechados en Puerto Rico ha ido en crecimiento en los últimos años. La importación de aproximadamente 125,000 vehículos de motor a la isla anualmente (DTOP, 2007) y la importación de neumáticos usados para la venta en gomas de segunda ha ocasionado el aumento en la generación de neumáticos desechados. En el año 2003, en el Departamento de Transportación y Obras Públicas (DTOP, 2004) había cerca de 1.8 millones de vehículos motorizados registrados, cifra que aumentó

en 500,000 vehículos durante los últimos cuatro años. En promedio cada vehículo posee cuatro neumáticos por lo que dicho aumento en vehículos representa aproximadamente 2 millones de neumáticos en este último año, esto tomando en consideración que la muestra de vehículos registrados ante el DTOP incluyen todo tipo de vehículo, tales como motoras, camiones, arrastres, entre otros, los cuales poseen entre 2 y 10 neumáticos. Por otro lado, debido a la crisis en la economía de nuestra Isla, la venta de neumáticos usados ha proliferado a tal magnitud que vemos en cada esquina de nuestra Isla una gomera que se dedica a este tipo de negocio. El neumático usado tiene una vida útil de 10,000 a 15,000 lo que representa una tercera parte de la durabilidad promedio de un neumático nuevo. No obstante, este producto tiene su demanda y clientela siendo un negocio lucrativo que necesariamente incrementa la generación de neumáticos desechados en la isla y, por ende, agrava el problema.

El neumático no es biodegradable, no lixivia y no pierde su forma original. Es por estas razones que los científicos se han dado a la tarea de buscar soluciones adecuadas a la disposición de los neumáticos desechados tomando en cuenta los materiales y su fabricación. La masiva fabricación de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer, una vez usados, constituye uno de los más graves problemas medioambientales de los últimos años en el mundo entero. Un neumático necesita grandes cantidades de energía para fabricarse (por ejemplo, medio barril de petróleo crudo para fabricar un neumático de camión) y provoca, si no se realiza adecuadamente su reciclaje, la contaminación ambiental incontrolada de vertederos clandestinos. Los neumáticos desechados inadecuadamente provocan la proliferación de insectos y vectores tales como los mosquitos y roedores.

## **Problema de Estudio**

A finales del siglo pasado, la disposición de neumáticos desechados en Puerto Rico era un problema creciente que aquejaba al país. Los neumáticos desechados eran procesados en tamaños pequeños para poder mercadearlos como materia prima. No obstante, en Puerto Rico no existía el mercado para utilizar estos trozos de neumáticos o caucho triturado según lo define la legislación aplicable que veremos más adelante. Peor aún, en Puerto Rico no se han realizado estudios científicos conducentes a identificar diferentes alternativas viables y prácticas que contribuyan a solucionar efectivamente el creciente problema de neumáticos desechados. Incluso, no se había considerado utilizar el caucho triturado como relleno alternativo en proyectos de ingeniería civil debido a la ausencia de una evaluación sobre su posible impacto al medio ambiente como consecuencia del contenido de materiales que pudieran ser peligrosos y que se utilizan para la manufactura de éstas.

Uno de los graves problemas que provocaba el almacenamiento de los neumáticos desechados y triturados surgió a fines de la década de los años '90 en Puerto Rico, resultando en varios incendios de consecuencias catastróficas con un impacto significativo a nuestro medio ambiente.

Por varios años, distintas entidades públicas y privadas comenzaron a evaluar y desarrollar alternativas de mercado para el reciclaje de estos neumáticos, una vez reducidos mediante el proceso de triturado en trozos, cuyo tamaño nominal fluctúa entre dos a cuatro pulgadas. En Puerto Rico, luego de varios esfuerzos para resolver el problema y desarrollar un mercado viable para el reciclaje de neumáticos desechados que

permitiera su uso como materia prima, o sea convertirlos neumáticos en un producto, el gobierno decidió actuar. Es así que el Departamento de Recursos Naturales, por medio de la Autoridad de Desperdicios Sólidos; y el Departamento de Transportación y Obras Públicas, por medio de la Autoridad de Carreteras y Transporte; se dieron a la tarea de desarrollar un Proyecto, localizado en una compañía de procesamiento en el municipio de Salinas, para la utilización de miles de neumáticos desechados triturados. En la isla, las compañías de procesamiento de neumáticos desechados no tenían un uso ni un mercado efectivo y viable para los trozos de caucho ya triturados.

Como respuesta directa, a la preocupación gubernamental y el problema de inutilización de este material desechado, el caucho triturado se convirtió en una alternativa de relleno en un Proyecto de Estabilización y Mejora de Taludes de la Carretera Estatal PR-#52 desde el kilómetro 61.90 hasta su intersección con la carretera estatal PR-#53, en la demarcación territorial del Municipio de Salinas (Figura 1). Dicho Proyecto permitió el reciclaje final de los miles de neumáticos desechados que estaban triturados y almacenados en una compañía de procesamiento ubicada en el municipio de Salinas para el año 2000.

De la situación planteada se desprende el interés y la preocupación del investigador en estudiar el siguiente problema: ¿Si existe o existirá algún tipo de contaminación en el subsuelo, por metales pesados, como consecuencia del uso del caucho triturado utilizado como relleno alternativo a principios del siglo 21 en el Proyecto de Estabilización y Mejora de Taludes entre la PR-#53 y PR-#52?



## **Justificación del Problema**

El problema que pretendemos analizar nos lleva a conducir estudios científicos y analíticos en una sección (Figura 1) del Proyecto de Estabilización y Mejora de Taludes, específicamente en el cruce de la entrada al expreso de Guayama (PR-53) desde la Autopista Luis A. Ferré (PR-52), al lado sureste, en dirección de sur a norte.

Nuestra intención es evaluar si dicho Proyecto de Ingeniería Civil cumplió con las especificaciones de disposición establecidas, si redundó en un beneficio para la conservación y protección del ambiente y si contribuyó a proteger y alargar la vida útil de los vertederos, lugar donde se hubiese dispuesto del caucho triturado.

Los impactos a los vertederos pueden ser varios siendo el más determinante, la pérdida de espacio. Conforme a los datos provistos, si anualmente se dispone una cantidad aproximada de 75,000 metros cúbicos (4 millones de neumáticos) de trozos de neumáticos o, su equivalente, 40,000 toneladas, la pérdida de espacio sería un grave problema ambiental. En cambio, tener disponibles 75,000 metros cúbicos de relleno alternativo anualmente, tiene la ventaja de que estamos reciclando un desperdicio y, a su vez, preservando dicha cantidad en corteza terrestre.

Tomando como base el estándar ASTM D6270-98, reprobado en el 2004 (Apendice 1), el uso de caucho triturado como relleno alternativo ofrece ventajas en su uso. Varios ejemplos de estas ventajas son: el poco peso por volumen, la poca presión lateral, la poca conductividad termal, el buen drenaje y que es económicamente viable (Humphrey, 2001).

Los neumáticos desechados poseen, como parte de su fabricación, entre un 14% y un 15 % de cable de acero (RMA, 2003) entrelazado en los distintos tipos de caucho

(natural y sintético). Además, contienen nylon que se utiliza para formar lo que se conoce como neumático o goma radial que son parte de los vehículos de motor desde el 1954 (Shemenesky, 1994).

El uso del cable de acero en la fabricación de los neumáticos pudiera tener un impacto ambiental negativo si se utiliza como material de relleno alternativo debido a que parte de este material queda expuesto luego de que los neumáticos son triturados a un tamaño nominal de 2 pulgadas. Es por esta razón que, la ASTM desarrolló unas guías especificando el tamaño del material a utilizarse, la longitud del cable de acero expuesto y cómo aplicarlo en el lugar de uso, entre otras.

### **Pregunta de Investigación**

¿Existe algún tipo de contaminación en el subsuelo por metales pesados como consecuencia de la disposición o uso del caucho triturado utilizado como relleno alternativo?

### **Metas**

Evaluación sobre el impacto del uso de caucho triturado como relleno alternativo en un proyecto de ingeniería civil para promover el uso de éste en otros proyectos similares.

### **Objetivos**

Esta investigación tiene los siguientes objetivos:

- A. Identificar los materiales utilizados en la fabricación de neumáticos que podrían representar un peligro de contaminación por metales pesados.

- B. Realizar un análisis de laboratorio para metales pesados del Suelo del Proyecto de Estabilización y Mejoras de Taludes en el lado sureste, de sur a norte, de la intersección entre las carreteras estatales PR-#52 y PR-#53 en las inmediaciones del Municipio de Salinas.
- C. Presentar datos científicos y analíticos conducentes a la posible contaminación de metales pesados por la utilización de caucho triturado como relleno alternativo en el referido Proyecto.
- D. Evaluar el posible riesgo de contaminación ambiental en el área colindante al Proyecto.
- E. Identificar los beneficios ambientales y económicos al utilizar neumático triturado como relleno alternativo en el Proyecto de ingeniería civil objeto de evaluación.
- F. Analizar el posible riesgo del uso de trozos de neumáticos desechados como relleno alternativo en sustitución de material de la corteza terrestre en otros proyectos de ingeniería civil y de esta manera poder conservar los recursos naturales de Puerto Rico.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **Trasfondo histórico**

Antes del 1985 no existía ley alguna sobre el reciclaje de neumáticos desechados en la nación americana y, mucho menos, en Puerto Rico. Los vendedores de neumáticos solían pagar a un “Tire Jockey” para que removiera los mismos de sus establecimientos. Los llamados “Tire Jockey” transportaban los neumáticos desechados hasta un depósito. Los neumáticos desechados eran almacenados en lugares remotos tales como canteras, predios baldíos, vertederos clandestinos, entre otros. Estos empresarios almacenaban dichos neumáticos pensando que los neumáticos se venderían en un futuro, pero eso no fue así. Para el año 1985, existían aproximadamente 3 billones de neumáticos almacenados en la nación americana, que comenzaron a generar problemas a los gobiernos estatales. Cada uno de estos lugares almacenaba entre 8 y 15 millones de neumáticos. Estos datos fueron provistos por la “Rubber Manufacturers Association”.

Cuando dichos empresarios no encontraron la forma de vender o generar algún dinero de éstos y las agencias gubernamentales comenzaron a inspeccionar estos lugares, comenzaron a abandonarlos dejando las pilas de neumáticos y, peor aún, los incendiaban para desaparecerlos. Muchos de los grandes incendios fueron en Estados como Virginia, California, Pennsylvania, entre otros. Una vez comenzaron a ocurrir estos incendios, además de otros problemas relacionados como los criaderos de vectores, los gobiernos estatales decidieron legislar para regular la disposición de los neumáticos desechados.

Desde el 1985 hasta el 1992, Estados como Minesota, California y Arizona entre otros, legislaron para regular los mismos.

El recobro y el reuso de los neumáticos desechados aumentó de un 10% en el 1989 a un 81% en el 1999, en varias opciones de reuso tales como combustibles, proyectos de ingeniería civil y asfalto modificado (Fairley, 1999).

Puerto Rico no fue la excepción en los incendios de neumáticos desechados, hubo incendios en varios vertederos clandestinos y municipales. No fue hasta el 1996, que la Legislatura de Puerto Rico promulgó la Ley 171 que regulaba el recogido, transporte, procesamiento y uso final de los neumáticos desechados. La Ley fue creada y establecida por las agencias concernientes, pero no se desarrollaron los mercados finales de los neumáticos desechados una vez estuviesen triturados.

La empresa American Tire Systems, Inc. (ATSI) era una empresa que se dedicó al recogido y triturado de neumáticos desechados antes de que se aprobara la referida Ley 171. Dicha empresa recolectaba, transportaba y procesaba los neumáticos desechados pero no tenía los mercados finales, por ende, almacenaba los trozos de neumáticos desechados en los antiguos almacenes utilizados por la industria de la caña de azúcar. Durante la década de los 90, existían varias compañías procesando neumáticos desechados, dos de ellas cerraron operaciones y otra tuvo un incendio que la llevó a cesar operaciones. Además, hubo varios incendios de caucho triturado que estaba almacenado en algunas instalaciones de vertederos esperando por proyectos para ser utilizados.

El 23 de marzo de 2000, ocurrió un fuego en las instalaciones de esta compañía que se encontraba ubicada en el sector Aguirre de Salinas, Puerto Rico. Como consecuencia de este incendio, la Autoridad de Desperdicios Sólidos (ADS) bajo el

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), junto a la Autoridad de Carreteras y Transportación (ACT) bajo el Departamento de Transportación y Obras Públicas (DTOP) realizaron varias evaluaciones con el propósito de resolver el problema de disposición de trozos de neumáticos. Esta situación concluyó en el diseño del Proyecto de Estabilización y Mejora de Taludes, AC-520050 (P000052250), en la intersección de la carretera estatal PR-#52 y PR-#53, lado sureste, específicamente desde el kilómetro 61.90 hasta su intersección con la PR-53 del municipio de Salinas, donde se utilizaron trozos de neumáticos o caucho triturado como relleno alterno. Este Proyecto crearía unos terraplenes en la autopista que mejorarían las pendientes extremas que existían específicamente en 8 tramos del Proyecto. A esos efectos, se utilizó una mezcla de 50% trozos de neumáticos desechados y 50% con material clasificado como “borrow C”.

El Proyecto utilizó 1.4 millones de neumáticos desechados, que se almacenaban en las facilidades de la compañía ATSI localizada en la antigua Central Aguirre en Salinas, Puerto Rico, debido a que no existía ningún uso para éstos que cumpliera con los requisitos de ser ambientalmente seguro y económicamente viable. El Proyecto fue realizado por la compañía Construcciones José Carro, S.E. quienes utilizaron aproximadamente 25,700 metros cúbicos de trozos de neumáticos (equivalente a 1.4 millones de neumáticos desechados) conocidos en el mercado como “tire chips” con un tamaño nominal de 2 pulgadas. Estos datos fueron obtenidos del documento ambiental realizado por la Autoridad de Carreteras y Transportación, titulado Exclusión Categórica 01-0160 del 3 de agosto de 2000 (Apendice 2), y cursado a la Junta de Calidad Ambiental.

Las especificaciones del proyecto requerían que el 75% de los fragmentos de cable de acero no sobresalieran los 2.5 centímetros y el 100% no excediera los 5 centímetros. El Proyecto fue diseñado y realizado según el ASTM D 6270-98 (reaprobado en el 2004), el cual es un documento que provee las prácticas estándares para el uso de neumáticos desechados enteros y procesados en lugar de material de la corteza terrestre en estudios de ingeniería civil como lo fue este Proyecto (ASTM International, 2004).

De no haberse aprobado el Proyecto, los resultados serían una mayor proliferación de vertederos clandestinos y aumentos en los niveles críticos de la incidencia de enfermedades tales como el dengue en Puerto Rico. Además, debido a la reglamentación vigente, los trozos de neumáticos desechados hubiesen sido dispuestos en vertederos autorizados lo que hubiese disminuido, más aún, su vida útil.

### **Marco conceptual**

Los neumáticos se manufacturan utilizando materiales que pudieran tener un efecto adverso en nuestro ambiente luego de ser desechados. La manufactura de los neumáticos incluye el uso de goma sintética, goma natural, carbón negro, acero, fibra, aceleradores, relleno y otros compuestos.

La composición por peso de los neumáticos es de un 27% de goma sintética, 14% de goma natural, 28% de carbón negro, 14 a 15% de acero, y 16 a 17% entre fibra, aceleradores y otros compuestos. Típicamente, un neumático nuevo tiene un peso de 25 libras; en cambio, un neumático desechado tiene un peso de aproximadamente 20 libras (RMA, 2007). Siendo así, la composición del neumático anteriormente descrita, se deduce que el neumático tiene aproximadamente 2.5 libras de acero. Una vez el

neumático es triturado, parte de este metal se recobra para reciclaje pero otra parte queda adherida a los trozos de neumáticos, cuyo volumen depende del tamaño final de cada pedazo. Este residuo de metal que permanece adherido a cada trozo de neumático es el que podría causar contaminación por metales pesados en el suelo.

El cable de acero se introdujo en la manufactura de neumáticos en el año 1946 por Michellin cuando se diseñó el neumático radial y se dejó atrás el neumático convencional. (Moran, 2001). El Neumático Radial está constituido por una o más lonas cuyos cordones (cable de acero) son paralelos en el sentido radial, en cambio, el neumático convencional, también llamado diagonal, está constituido por lonas textiles cruzadas una en relación con la otra. El cable de acero en la manufactura del neumático provocó que los automóviles pudieran aumentar la velocidad y durabilidad, mejorara su manejo y ahorrara combustible.

La manufactura del cable de acero utilizado en los neumáticos se basa en el ASTM 1071, el cual especifica los materiales y el proceso para la fabricación del mismo. La composición de los materiales utilizados para la fabricación del acero utilizado en los neumáticos está descrita en la Tabla 1, que presenta los porcentajes utilizados en la parte del neumático que tiene contacto directo con la vía de rodaje y de las partes laterales.

Varios de los materiales utilizados en la fabricación de acero pueden resultar peligrosos si se encuentran en concentraciones altas en el medio ambiente, a éstos se les conoce como metales pesados cuando se encuentran en concentraciones mayores de 5 gr/cm<sup>3</sup> en su estado natural o cuyo número atómico es superior a 20; excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos. (García y Dorronso, 2006) Existen dos clases de metales pesados: los oligoelementos o micronutrientes, necesarios en cantidades pequeñas



para el desarrollo de los seres vivientes, tomando en cuenta que se tornan tóxicos pasado cierto umbral, ejemplo de éstos lo son: Arsénico (As), Boro (B), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Molibdeno (Mo), Manganeso (Mn), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Selenio (Se) y Zinc (Zn). El otro grupo son los metales pesados que no tienen función alguna en los seres vivos pero afectan el funcionamiento de sus organismos y resultando altamente tóxicos si se acumulan en los organismos. Estos son principalmente Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Antimonio (Sb), Bismuto (Bi).

La última fase del proceso de la manufactura de neumáticos es la vulcanización de todos los materiales antes mencionados utilizando el azufre. El proceso de vulcanización transforma el caucho natural y sintético en una sola unidad proveyendo la forma y rigidez del neumático. El nombre vulcanización viene del nombre Vulcan que era el Dios Romano del fuego y del trabajo de los metales.

El proceso de vulcanización fue descubierto por Charles Goodyear en el año 1839 cuando colocó accidentalmente un pedazo de caucho mezclado con sulfuro y óxido de plomo encima de una estufa caliente. Esto transformó el caucho de una sustancia maloliente, virtualmente sin uso y pegajosa en un producto estable, duro y comercialmente versátil (Kauffman, 2000).

Tomado en cuenta el proceso antes descrito, sobre el proceso de manufactura del neumático, y basado en los materiales utilizados en la fabricación del cable de acero utilizado en éstos, en nuestra investigación estaremos analizando el impacto, si alguno, de los metales pesados por el uso de trozos de neumáticos desechados en proyectos de ingeniería civil.

Además, es importante conocer la magnitud de la generación de neumáticos desechados en la Isla. En Puerto Rico, existe una población de aproximadamente 4 millones de personas conforme fueron identificadas por el Censo del 2000. La “Rubber Manufacturing Association” (RMA) indica que por cada habitante genera un neumático desechado anual. Los datos nos llevan a concluir que en Puerto Rico se generan aproximadamente 4 millones de neumáticos al año cuyo manejo y disposición debe ser adecuado y en protección del ambiente.

Por tanto, los resultados de la evaluación del presente estudio nos pueden llevar a concluir que el uso de caucho como relleno en proyectos de ingeniería civil podría ser una solución ambientalmente segura a la cantidad significativa de neumáticos que se generan en nuestro País.

### **Síntesis de estudios anteriores**

En Puerto Rico nunca se han realizado estudios que arrojen datos científicos sobre posibles contaminaciones al suelo por el uso de trozos de neumáticos desechados o caucho triturado como relleno alterno en proyectos de ingeniería civil.

Proyectos como el de la ACT en Puerto Rico se han realizado en toda la Nación Americana y en Europa por lo que existen estudios de campo realizados por diversas entidades públicas y privadas. El Dr. Dana Humphrey, profesor de ingeniería civil de la Universidad de Maine, realizó varios de estos proyectos en el Estado de Maine. Además, el Estado de Tejas, bajo la Comisión de Conservación de los Recursos Naturales, realizó y estandarizó en sus solicitudes de permisos, el uso de caucho triturado (conocido en el idioma anglosajón como “Tire Chip”) como relleno alterno (“Tire-Derived Aggregate”, *TDA*) para carreteras y lugares de planicies bajas. Otros estados tales como Minnesota,

California y Massachussets, entre otros; y organizaciones como la “Rubber Manufacturers Association” (RMA) han hecho estudios conducentes al uso de caucho triturado como relleno alternativo. Más aún, la RMA autorizó en Septiembre de 1991 a la Corporación Radian para realizar una evaluación sobre los niveles químicos, si alguno, que eran lixiviados de trozos de neumáticos utilizando el método 1311 del EPA SW-846 conocido como Procedimiento para Lixiviar Características Tóxicas (TCLP, por sus siglas en inglés). Lixiviado se define como un líquido que ha percolado a través de los desperdicios sólidos y que ha extraído materiales disueltos o suspendidos (Tchobanglous & Kreith, 2002). La prueba de TCLP representa el peor escenario de una lluvia ácida percolando a través del desperdicio y saliendo como lixiviado, este procedimiento determina si el desperdicio es peligroso o no (USEPA Method 1311).

### **Marco legal ambiental**

La Ley Número 171 de 31 de agosto de 1996, mejor conocida como la Ley de Reciclaje de Neumáticos Desechados, (según enmendada por la Ley Número 21 del 6 de enero de 2000 y la Ley Número 184 del 21 de agosto de 2000), fue aprobada con el propósito de establecer el reciclaje de neumáticos desechados bajo unos parámetros ambientales y fiscales. La misma entró en vigor 6 meses luego de haberse aprobado, el 1ro de marzo de 1997, y estableció la política pública en Puerto Rico para el uso, manejo y disposición de neumáticos desechados; prohibió la disposición final de neumáticos desechados enteros en las instalaciones de disposición de desperdicios sólidos autorizadas de Puerto Rico; e incentivó el reciclaje, así como el uso de materiales y recuperación de energía derivadas de éstos. Además, la ley impuso un cargo por manejo y disposición de

cada neumático importado a la Isla el cual es depositado bajo el fondo creado por la Ley y administrado por el Departamento de Hacienda.

A raíz de la abrogación de la Ley Número 171 de 31 de agosto de 1996, la Junta de Calidad Ambiental, entidad cuasi-judicial del Gobierno de Puerto Rico, enmendó, en diciembre del 1997, el Reglamento para el Manejo de los Desperdicios Sólidos No-Peligrosos de Puerto Rico. La enmienda al Reglamento se realizó para incluir disposiciones sobre el manejo, transportación, disposición y reciclaje tanto de los neumáticos desechados como de aceites usados, desperdicios biomédicos y composta.

Una vez enmendado el Reglamento para el Manejo de los Desperdicios Sólidos No-Peligrosos de la Junta de Calidad Ambiental, las disposiciones para el manejo, transportación y disposición de los neumáticos desechados fueron incluidas en el Capítulo VIII, Reglas 620 a 627. Dichas Reglas aplican a todo aquel consumidor, detallista, mayorista, almacenador, manejador, transportador, importador, exportador, procesador, recauchador, instalaciones de reciclaje o de disposición final que maneje, distribuya, comercie, trate o disponga neumáticos nuevos, usados o desechados en Puerto Rico, según promulgado en la Ley 171, 1996.

La Ley Número 171 de 1996, ordena a la Junta de Calidad Ambiental establecer el Reglamento para el Manejo de los Neumáticos Desechados; le asigna responsabilidades a la Autoridad de Desperdicios Sólidos para coordinar la implantación de dicha Ley en seis meses luego de su aprobación; y coordina la implantación de la Ley en armonía con la Ley Número 70 de 23 de junio de 1978, según enmendada, y con la Ley Número 70 de 18 de septiembre de 1992, según enmendada, conocida como la Ley para la Reducción y el Reciclaje de Desperdicios Sólidos en Puerto Rico.

La Ley 171 define los siguientes términos como:

- *Neumático Desechado*: Es un neumático que ha perdido su valor o uso para su propósito original, ya sea por uso, daño o defecto.
- *Caucho Triturado*: Producto de goma generado por el procesamiento de neumáticos desechados.

Cabe señalar que, no existe una Ley Federal que regule la disposición y reciclaje de los neumáticos desechados en Estados Unidos. La Agencia Federal de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en Inglés), bajo el subtítulo D del Código de Regulaciones Federales (40 CFR), solo prohibió que los neumáticos desechados enteros pudieran ser dispuestos en los rellenos sanitarios. Esta Agencia Federal vigila y establece programas y prácticas generales para los Estados, incluyendo los territorios como Puerto Rico, para el manejo ambientalmente seguro de éstos durante su disposición y reciclaje.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **Introducción**

El Proyecto de Estabilización y Mejoras de Taludes utilizó aproximadamente 1.4 millones de neumáticos desechados, el equivalente a aproximadamente 35% de los neumáticos generados en nuestra Isla en un año. Es nuestro interés realizar un trabajo de investigación científico sobre este Proyecto en particular.

Durante esta investigación, realizamos un análisis del contorno superficial del área en estudio; a tales efectos y como primer paso, se demostrará la dirección en que corren las aguas de escorrentía durante periodos de lluvia. Este dato nos indicará el movimiento o depósito de metales pesados y nos permitirá obtener muestras de suelo en los llamados “Hot Spot” (posibles lugares contaminados) a través del área en estudio.

#### **Área de estudio**

El Proyecto se localiza en el lado sureste de la carretera estatal PR-#52, desde el kilómetro 61.9 hasta la intersección con la carretera estatal PR-#53, en el expreso hacia el municipio de Guayama, en jurisdicción de Salinas.

El Proyecto de la ACT se llevó a cabo en 8 tramos a través de esta carretera. Nuestra área de investigación se concentra en la sección del Proyecto localizada en la intersección de la PR-#52 con el expreso hacia Guayama (PR-#53). Antes de llevar a cabo dicho Proyecto, los taludes mejorados sufrían de pendientes inclinadas que podían

ocasionar accidentes fatales en casos de pérdida de control del automóvil en dicha área de la autopista.

### **Diseño metodológico**

El método utilizado para establecer los puntos de muestreo y los análisis realizados a las muestras de suelo y al caucho triturado cumplió con los estándares de muestreo diseñado por la USEPA bajo el SW 846 Método 1311, mejor conocido como “Toxicity Characteristic Leaching Procedure” (TCLP, por sus siglas en ingles), (*“Test Methods for Evaluating Solid Waste”*, 1992). Este método se utiliza para determinar la movilidad de los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en líquidos, sólidos, y desperdicios multifásicos (EPA SW-846, 1992). El análisis de TCLP simula, en un estudio de laboratorio, el peor escenario climatológico sobre los desperdicios, incluyendo lluvia ácida y escapando contaminantes como lixiviados al ambiente.

Para llevar a cabo nuestro estudio de campo, tomamos cuatro muestras de suelo según el método establecido y descrito anteriormente a través del Proyecto en investigación. Todas las muestras de suelo fueron tomadas a una profundidad de 12 pulgadas. La muestra de suelo tipo trasfondo se tomó en la parte más alta del Proyecto donde el suelo no fue impactado. La Muestra de Trasfondo y las Muestras de Suelo 1, 2, y 3 se tomaron en las siguientes coordenadas:

- Muestra de Trasfondo:
  - Latitud: 18°0’5.84” N
  - Longitud: 66°14’53.93” W

- Muestra de Suelo 1
  - Latitud: 18°0'13.85" N
  - Longitud: 66°14'48.16" W
- Muestra de Suelo 2
  - Latitud: 18°0'13.14" N
  - Longitud: 66°14'47.71" W
- Muestra de Suelo 3
  - Latitud: 18°0'11.99" N
  - Longitud: 66°14'47.81" W

El propósito de esta muestra de trasfondo es conocer el contenido de metales en el suelo común del área en estudio y poder compararlo con las muestras de suelo posiblemente impactado. En cambio, las muestras de campo fueron tomadas en la parte más baja del Proyecto, específicamente por donde discurren las aguas de escorrentías que a su vez llegan hasta el sistema pluvial de la autopista #52. Se observó la presencia de caucho triturado como parte del relleno en las excavaciones donde se obtuvieron las muestras de suelo. Tres (3) muestras de suelo fueron obtenidas de tres "Hot Spots" o los peores escenarios seleccionados siguiendo el contorno del Proyecto y tomando en cuenta la huella de las aguas de escorrentía. De haber alguna contaminación en el Proyecto, ésta debería reflejarse en los "Hot Spots" seleccionados (Figura 2).

Con el propósito de comparar los resultados de las muestras de suelo con el contenido de metales en el caucho triturado se tomaron dos muestras de caucho triturado de tamaños distintos. Los tamaños de las muestras obtenidas provienen de: un grupo de trozos de aproximadamente 2 pulgadas nominales y un grupo de trozos entre 5/8 a 3/8 de



pulgada. Las muestras fueron tomadas en las instalaciones de la empresa de reciclaje de Integrated Waste Management, Inc. localizada en el municipio de Peñuelas, Puerto Rico.

Las muestras tomadas se describen de la siguiente manera:

- Muestra de Trasfondo (Lab Sample No. 08-1106)
- Muestra de Suelo 1 (Lab Sample No. 08-1107)
- Muestra de Suelo 2 (Lab Sample No. 08-1108)
- Muestra de Suelo 3 (Lab Sample No. 08-1109)
- Caucho Triturado - 01 (Lab Sample No. 08-11010)
- Caucho Triturado - 02 (Lab Sample No. 08-11011)

Las actividades de muestreo se realizaron siguiendo los pasos descritos a continuación:

- Se obtuvieron las botellas de Alchem Laboratorios localizados en Ponce, Puerto Rico. Las botellas utilizadas eran color ámbar, con un volumen de un litro.
- Se rotularon todas las botellas con su descripción. Esta incluyó la identificación de la muestra, hora, día, parámetros y persona que la tomó.
- Luego se procedió a tomar la muestra de *trasfondo*. Los hoyos se realizaron utilizando una pala y un pico; la muestra fueron obtenidas del suelo utilizando una espátula nueva cada vez que se tomaba para evitar la contaminación cruzada, si alguna.
- Utilizando guantes de látex y una cuchara plástica desechable, se llenaron cada una de las botellas. Se utilizó una cuchara nueva para cada una de las muestras.
- Una vez obtenidas las muestras, se sellaron las botellas y se colocaron en una nevera con hielo, aunque no era necesario.

- Se completó una cadena de custodia para transportar las muestras desde el Proyecto en investigación hasta el Laboratorio Alchem.
- Las muestras de caucho triturado se obtuvieron utilizando guantes de látex.
- Trozos de caucho se colocaron dentro de las botellas correspondientes. Al igual que las muestras de campo, los guantes látex se cambiaron entre muestras.
- Una vez más, se rotularon todas las botellas con su descripción. Esta incluyó la identificación de la muestra, hora, día, parámetros y persona que las tomó.
- Las muestras obtenidas se transportaron hasta el laboratorio donde un técnico recibió las muestras y firmó en la cadena de custodia, certificando el día y hora de entrega.
- Todas las muestras obtenidas se analizaron para TCLP Metales (EPA SW 846, método Metales Serie 6000/7000). Los metales analizados fueron Arsénico (D004), Boro (D005), Cadmio (D006), Cromo (D007), Plomo (D008), Mercurio (D009), Selenio (D010) y Plata (D011).

Los niveles reglamentarios de EPA para los metales a ser analizados son los siguientes: Arsénico – 5.0 ppm, Boro – 100.0 ppm, Cadmio – 1.0 ppm, Cromo – 5.0 ppm, Plomo – 5.0 ppm, Mercurio – 0.2 ppm, Selenio – 1.0 y Plata – 5.0 ppm. Estos niveles reglamentarios determinan si un desperdicio es catalogado como peligroso o no-peligroso.

Los resultados analíticos de las muestras obtenidas de campo y las muestras obtenidas directamente de trozos de neumáticos desechados serán analizados científica y estadísticamente para obtener conclusiones conducentes a determinar si existe contaminación en el Proyecto de mejoras de taludes realizado en el municipio de Salinas

y una posibilidad de contaminación futura por metales pesados al usar trozos de neumáticos o caucho triturado como relleno alternativo en proyectos de ingeniería civil.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### **Introducción**

El caucho triturado fue utilizado en sustitución de relleno de la corteza terrestre en el proyecto de ingeniería civil diseñado y realizado por la ACT en conjunto con la ADS. Con el propósito de analizar la posible contaminación de metales pesados en el Proyecto objeto de investigación, este capítulo presenta los resultados y la discusión de las actividades de muestreo de suelo en un área impactada por el Proyecto. Además, se presentan los análisis de caucho triturado en dos tamaños distintos para determinar el nivel de contaminación por metales pesados, si alguno, y la posibilidad de utilizar este material en otros proyectos similares en Puerto Rico.

El 11 de febrero de 2008 se realizaron las actividades de muestreo del suelo según la metodología descrita en el pasado capítulo. El muestreo se llevó a cabo en la sección del Proyecto entre la autopista #52 y #53 en el municipio de Salinas y en las facilidades de reciclaje de neumáticos desechados de la Integrated Waste Management, Inc., en el municipio de Peñuelas. Se obtuvieron 6 muestras en total, de las cuales cuatro provienen de las inmediaciones del Proyecto objeto de investigación y sus alrededores. Las muestras se denominaron como: Muestra de Trasfondo, Muestra de Suelo 1, Muestra de Suelo 2 y Muestra de Suelo 3. Las dos muestras restantes fueron de caucho triturado de distintos tamaños y se denominaron TC-01 y TC-02 (Apéndice 1). La muestra TC-01 se obtuvo de caucho triturado con un tamaño nominal de 2 pulgadas y la TC-02 en un tamaño nominal entre 3/8 y 5/8 de pulgada. Las muestras de suelo y de

caucho triturado fueron analizadas por Alchem Laboratorios y certificadas por la Licenciada en Química, María del Carmen Pagán, con licencia número 1752.

Discutiremos en primer lugar, la comparación y análisis de la Muestra de Trasfondo con las Muestras de Suelo 1, 2 y 3. En segundo lugar, realizaremos una comparación de las Muestras de Suelo 1, 2 y 3 con los resultados de TCLP producidos en el informe del Proyecto de Investigación realizado por la compañía Radian Corporation a solicitud de la “Rubber Manufacturers Association” (RMA). En tercer lugar, se comparan los resultados de las Muestras de Suelo 1 al 3 con los Niveles de Acción bajo las Acciones Correctivas de RCRA, “Resources Conservation and Recovery Act” establecida por la Agencia Federal para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de America, publicados por la “American Society For Testing Materials” en el informe ASTM DS-64, Edición 1996. En cuarto y último lugar, se compararán las muestras de caucho triturado con los resultados de muestreo de suelo y de TCLP de Radian Corporation.

### **Comparación entre Muestra de Trasfondo y las Muestras de Suelo 1, 2, y 3 del Proyecto**

Las concentraciones de metales pesados arrojadas por las Muestras de Trasfondo (Tabla 2) y Suelo, éstas denominadas como 1, 2 y 3 (Tabla 3, 4, 5), para TCLP Metales demuestran que están por debajo de los límites mínimos de detección establecidos por la USEPA en el método SW 846, con la excepción del elemento Boro. El Límite Mínimo de Detección es la concentración límite en el que un elemento no puede ser detectado en la muestra. Los metales pesados cuyos resultados se mantuvieron por debajo del límite fueron Arsénico, Cadmio, Cromo, Plomo, Selenio y Plata, éstos indicaron resultados

menor de 0.05 ppm; y para Mercurio menor de 0.0009 ppm. La concentración de Boro en la muestra fue de 0.46 ppm y el límite reglamentario de “Resources Conservation & Recovery Act” (RCRA) para Boro es 100.00 ppm. Esta muestra revela las características y concentraciones típicas de los metales pesados en el suelo natural del área.

Las muestras denominadas como Muestra de Suelo 1, 2, 3 (Tabla 3, 4, y 5, respectivamente) arrojaron resultados similares a los encontrados en la muestra de Trasfondo. Los resultados para las Muestras de Suelo 1, 2 y 3 de Arsénico, Cadmio, Cromo, Plomo, Mercurio, Selenio y Plata se mantuvieron por debajo de los límites de detección, con excepción del Boro, el cual fue detectado como en la Muestra de Trasfondo. Las concentraciones de Boro arrojaron resultados de 0.66, 1.68 y 2.05 ppm para las Muestras de Suelo 1, 2 y 3. Como base a nuestro estudio, el elemento Boro fue el único detectado en la Muestra de Trasfondo y las Muestras de Suelo. Los resultados con relación al Boro exhiben concentraciones de 10 a 100 veces por debajo de los niveles reglamentarios establecidos por la TCLP. Además, la Muestra de Trasfondo nos indica que el suelo natural del área adyacente al Proyecto refleja concentraciones de metales pesados similares a las obtenidas en las Muestras de Suelo impactadas por el Proyecto.

### **Comparación entre Muestras de Suelo del Proyecto y TCLP Radian Corporation (RMA)**

Radian Corporation es una compañía autorizada por RMA que realizó análisis de TCLP a los neumáticos manufacturados por las empresas que pertenecen a la Asociación. El propósito del estudio realizado y evaluado por Radian fue analizar los niveles de lixiviados, si alguno, en las muestras obtenidas de estos productos (RMA).

Las muestras de neumáticos obtenidas por Radian Corporation se describen de la siguiente manera (Tabla 8):

1(a): Neumático de Camión

2(a): Neumático Liviano de Camión

3(a): Neumático Liviano de Camión

4(a): Neumático de Automóvil

5(a): Neumático de Automóvil

6(a): Neumático de Automóvil

7(a): Neumático de Automóvil

Todas las muestras identificadas anteriormente fueron trituradas por personal técnico del Laboratorio de Ciencias de Materiales de Radian Corporation, a porciones menores de 3/8 de pulgada (<1 cm) antes de ser sometidas a la evaluación de TCLP por el método SW 846. Radian Corporation durante su estudio no analizó el metal conocido como plata (D011) debido a que éste no se encuentra en el cable de acero utilizado en la manufactura de los neumáticos.

Cabe señalar que los límites mínimos de detención utilizados por Radian fueron menores que los límites establecidos por EPA en el SW 846. Las concentraciones de los metales pesados fueron detectadas a niveles más bajos que nuestro estudio. No obstante, los resultados analíticos arrojados en ambos estudios fueron similares. Por ejemplo, los resultados de las concentraciones de Boro en el estudio de Radian demostraron estar entre no detectable (por debajo de los límites de detención) y 0.590 ppm. Por otro lado, los resultados analíticos de las muestras de suelo en nuestro estudio de campo estuvieron

entre 0.66 y 2.05 ppm por lo que están muy por debajo de los niveles reglamentarios de TCLP. Además, los resultados de Cromo en las muestras de productos de Radian fueron entre 0.012 y 0.048 ppm, o sea, por debajo del límite mínimo de nuestro estudio ( $<0.05$  ppm). Al igual que los resultados arrojados por el análisis de Cromo, las concentraciones de Plomo y Mercurio fueron detectadas en menor concentración que el límite de detención de nuestro estudio. Las concentraciones de Plomo estuvieron entre 0.002 y 0.018 ppm; y las de Mercurio entre no detectables y 0.0002 ppm. Los límites mínimos de detención utilizados en nuestro análisis para Plomo fue de 0.05 ppm y para Mercurio de 0.0009 ppm.

### **Comparación entre Muestras de Suelo del Proyecto y Niveles de Acción Correctiva bajo Estándares de RCRA**

Los niveles de acción establecidos por el programa de RCRA para las Aguas Subterráneas son los niveles máximos de concentración en Agua Potable (Maximum Contaminants Levels, MCLs). Los niveles de acción correctiva se definen como el nivel máximo de concentración que puede haber en una muestra; de la muestra contener niveles más altos de los establecidos, se establecerán acciones correctivas para minimizar las concentraciones en el ambiente necesario. Los resultados analíticos de las muestras de suelo (Soil Sample 1, 2 y 3) obtenidas durante las actividades de campo de nuestro estudio se encuentran en las Tablas 3, 4 y 5 y los niveles de acción bajo las Acciones Correctivas de RCRA en la Tabla 9.

Algunos metales pesados analizados en nuestro estudio de campo arrojaron resultados analíticos por debajo de los niveles de Acción Correctiva bajo RCRA en Agua Potable. Nótese, que estos análisis son del lixiviado líquido extraído de las muestras de



suelo que podría alcanzar un cuerpo de agua o aguas subterráneas potables. Estos metales pesados fueron Arsénico, Boro, Cromo, Selenio y Plata. Sin embargo, no podemos determinar si las concentraciones de Cadmio, Plomo y Mercurio están por debajo de los niveles de acción para agua potable debido a que el límite mínimo de detención en nuestro estudio es mayor a los niveles de MCL pero menores que los de TCLP. Por ejemplo, los metales Cadmio, Plomo y Mercurio tienen límites de detención en TCLP de 1.0, 5.0 y 0.2 ppm, respectivamente; en cambio, los niveles de MCL son de 0.05 ppm, 0.015 ppm, 0.002 ppm, en el mismo orden descrito.

### **Comparación entre Muestras de Caucho Triturado, Muestras de Suelo y Trasfondo**

Los resultados analíticos de las muestras de Caucho Triturado (Tabla 6 y 7) y las muestras de suelo del Proyecto (Tabla 3, 4, y 5) son similares. Al igual que los resultados analíticos de las Muestras de Suelo y Trasfondo, los resultados de las muestras de caucho triturado para Arsénico, Cadmio, Cromo, Plomo, Mercurio, Selenio y Plata están por debajo de los niveles mínimos de detención. En cambio, las concentraciones de Boro en el caucho triturado son menores en comparación con los resultados arrojados por las muestras de suelo del Proyecto. Los resultados de Boro en las muestras de caucho triturado denominadas como TC-01 y TC-02 son de 0.09 y 0.08 ppm, respectivamente. No obstante, los resultados de Boro en la Muestra de Suelo 1 fue de 0.66, en la Muestra de Suelo 2 fue de 1.68, en la Muestra de Suelo 3 fue de 2.05 ppm, y en la Muestra de Trasfondo fue 0.46 ppm. Todas las concentraciones de las Muestras de Trasfondo, Suelo y Caucho Triturado están bajo los niveles reglamentarios para TCLP de EPA.

## **Comparación entre Muestras de Caucho Triturado y TCLP Radian Corporation**

Las muestras de caucho triturado TC-01 y TC-02 se obtuvieron de neumáticos desechados de automóviles, en cambio, el estudio realizado por Radian Corporation para la RMA incluye neumáticos de camión (muestra,1a), neumáticos de camión livianos (muestras 2a y 3a) y neumáticos de automóviles (muestras 4a, 5a, 6a y 7a).

Primeramente, vamos a comparar las muestras de caucho triturado de nuestro estudio con las muestras de neumáticos de automóviles de Radian. La muestra TC-01 se obtuvo de caucho triturado nominal de 2 pulgadas y TC-02 de un tamaño entre 3/8 y 5/8 de pulgada. En cambio, el tamaño de todas las muestras analizadas por Radian Corporation fue igual o menor a 3/8 de pulgada (<1cm). Los resultados de los metales pesados analizados en las muestras de caucho triturado TC-01 y TC-02 y de las muestras 4a, 5a, 6a, y 7a, que se obtuvieron de productos de neumáticos de automóviles, estuvieron también por debajo de los niveles mínimos de detección del SW 846; excepto el Boro, igual que las muestras anteriores. Las concentraciones de Boro en las muestras de TC-01 y TC-02 fueron 0.09 y 0.08 ppm, respectivamente. En las muestras obtenidas por Radian Corporation los resultados fueron como sigue: la Muestra 4a no fue detectada; la Muestra 5a fue de 0.570; la Muestra 6a fue de 0.590; y la Muestra 7a fue de 0.021 ppm. Las muestras de caucho triturado y las muestras analizadas por Radian Corporation demuestran que las concentraciones de Boro están en concentraciones de hasta 100 veces por debajo de los niveles reglamentarios por la EPA bajo el SW 846.

Si comparamos las muestras 1a, 2a, y 3a obtenidas por Radian Corporation, de un grupo de neumáticos de camión y camión liviano, con las muestras de caucho triturado TC-01 y TC-02 obtenidas de neumáticos de automóviles, los resultados de los metales

pesados en ambos estudios están por debajo de los niveles mínimos de detención del método SW-846, con excepción del Boro, cuyas concentraciones han sido consistentes entre todas las muestras realizadas y analizadas. Las concentraciones de Boro en las muestras 1a, 2a, y 3a estuvieron en 0.083, 0.065y 0.150 ppm, respectivamente. Estas concentraciones demuestran estar por debajo de las muestras de automóviles obtenidas por Radian Corporation y las muestras de caucho triturado TC-01 y TC-02 de nuestro estudio de campo.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Luego de realizar nuestro trabajo investigativo sobre la posible contaminación por metales pesados en un Proyecto de ingeniería civil donde se sustituyó el uso de material de relleno proveniente de la corteza terrestre por caucho triturado producido durante las actividades de reciclaje de neumáticos desechados y conforme con los resultados analíticos de las muestras de suelo obtenidas en el área impactada en este estudio, los análisis realizados al caucho triturado en dos (2) distintos tamaños y los resultados de estudios llevados a cabo por otras entidades fuera de Puerto Rico, podemos concluir lo siguiente:

Los resultados analíticos en la Muestra de Trasfondo y en las Muestras de Suelo 1, 2 y 3 arrojaron ínfimas concentraciones de metales pesados. El único elemento encontrado sobre los límites de detección del análisis de TCLP fue el Boro y su resultado es muy por debajo del límite reglamentario aprobado por el USEPA bajo el método de SW 846. Este elemento fue encontrado tanto en la Muestra de Trasfondo como en las muestras de suelo, por lo que concluimos que este metal se encuentra naturalmente en el suelo común del área adyacente a la del presente estudio. Las concentraciones de Boro en las muestras de suelo son desde 0.46 ppm (Muestra de Trasfondo) hasta 2.05 ppm (Muestra de Suelo 3). Por lo que la diferencia entre las muestras es de aproximadamente 1.50 ppm, recordando que el límite reglamentario de TCLP para Boro es de 100 ppm.

Los resultados analíticos de las muestras de caucho triturado revelaron niveles de concentración por debajo de los límites de detección, excepto por el Boro. No obstante,

el Boro aunque fue encontrado sobre el límite de detección fue detectado en concentraciones mínimas. La tendencia en los resultados analíticos de ambas muestras ha sido la misma, la diferencia entre ambas muestras fue de 0.01 ppm. El resultado de TC-01 fue 0.08 y de TC-02 fue de 0.09 ppm. Esto demuestra que las concentraciones de metales pesados en el suelo impactado por el caso en estudio y las muestras del caucho triturado son similares. Además, demuestra que el neumático desechado, cuando es utilizado como en sustitución del relleno de la corteza terrestre, no lixivia o libera metales pesados que contaminen al medio ambiente.

Mas aún, cuando se comparan los resultados analíticos de las muestras de suelo obtenidas en nuestro estudio y las muestras de caucho triturado obtenidas en las facilidades de reciclaje de Integrated Waste Management, con los resultados arrojados por el estudio llevado a cabo por Radian Corporation utilizando distintos tipos de neumáticos, todas las muestras presentan las mismas concentraciones y tendencias en los resultados. Los metales pesados están en concentraciones por debajo de los límites de detección, y el elemento Boro, aunque detectable, se encuentra en concentraciones muy por debajo del límite reglamentario de TCLP.

Por lo tanto, basado en la anterior comparación concluimos que los materiales utilizados para la manufactura de neumáticos no cambiaron significativamente en las últimas décadas. Esta aseveración es posible tomando como base que el estudio realizado por Radian fue en el año 1989 y nuestro estudio se hizo a principios del 2008. Cabe señalar que, el método utilizado en ambos estudios fue el establecido por la USEPA en el SW 846 para metales pesados (método 1311 Serie 6000/7000).

Por último, cuando comparamos los resultados analíticos obtenidos en las muestras de suelo y de caucho triturado con los Niveles de Acción bajo Acciones Correctivas de RCRA, los mismos están muy por debajo de los niveles establecidos.

Se desprende de esta investigación que el uso de caucho triturado como relleno alternativo no causa impacto en el medio ambiente. Todos los niveles de concentración de metales pesados encontrados a través de nuestro estudio demuestran estar en niveles muy por debajo de los límites de detección o en cantidades ínfimas. Por lo que el uso del caucho triturado como relleno alternativo conserva la corteza terrestre, protegiendo de esta manera el hábitat de la flora y la fauna de nuestra Isla y los recursos naturales en las reservas de canteras para productos de agregado.

### **Recomendaciones**

Luego de analizar el riesgo de contaminación por metales pesados en el medio ambiente donde se sustituyó el relleno de la corteza terrestre por caucho triturado, se concluye que este no representa un riesgo ambiental y se recomienda lo siguiente:

- La utilización del caucho triturado como relleno alternativo en sustitución de relleno de la corteza terrestre en proyectos donde no habrá construcción de estructuras. Este es viable desde el punto de vista ambiental, y siempre siguiendo los estándares diseñados por el ASTM-6270 (98) y reprobado en el 2004.
- Utilizar el material de caucho triturado en proyectos de ingeniería civil donde sea necesario un material con una permeabilidad alta debido a que el caucho triturado es un material liviano y de baja compactación. Por

ejemplo, podría utilizarse como relleno (“Backfill”) en la construcción de muros de contención.

- Que los proyectistas tomen en consideración el uso del caucho triturado en sus proyectos ya que en Puerto Rico, la Ley 171 del 1996, mejor conocida como la Ley para el Reciclaje de Neumáticos Desechados define el caucho triturado como un producto y lo saca del ámbito de los desperdicios para así promover su uso y mercadeo, y provee para que el sistema gubernamental estatal desembolse al proyectista que utilice el caucho triturado como relleno alternativo en su proyecto, la cantidad de aproximadamente \$14.85 por cada metro cúbico utilizado. Esto significa que, en vez del proyectista tener que comprar su relleno de la corteza terrestre, el Estado Libre Asociado de Puerto Rico mediante el fondo creado por la referida Ley, le desembolsa el pago por utilizar el relleno alternativo.
- Se realice un estudio posterior al presente en el área de estudiada para efectos de comparación de los resultados. El mismo debe realizarse cinco años después de esta fecha como mínimo.
- Que las agencias gubernamentales relacionadas con asuntos ambientales tomen como referencia los resultados de este estudio al considerar proyectos similares al estudiado.

Para concluir nuestro Proyecto de Investigación, el uso del caucho triturado como relleno alternativo en proyectos de ingeniería civil es una manera de reciclaje de neumáticos ambientalmente segura, económicamente viable, y además, protege los recursos naturales

de nuestra hermosa Isla, los cuales al presente son limitados y valiosos para generaciones futuras.

### **Limitaciones**

- Este estudio se realizó desde enero de 2007 hasta mayo de 2008.
- El proyecto sujeto a este estudio se realizó en el año 2000 posteriormente se sometió a investigación ocho (8) años después para evaluación y análisis científico.
- Este estudio se circunscribe al área geográfica del municipio de Salinas, desde el kilómetro 61.90 del expreso 52 hasta la intersección con el expreso #53. Por tal motivo los resultados no pueden extenderse a otra área geográfica de la isla.
- Se tomaron muestras superficiales a una profundidad de 12 pulgadas por motivos de factor económico, pero pudiera considerarse en un estudio futuro tomar las muestras a distintas profundidades hasta encontrar agua subterránea, de existir en el área.



## LITERATURA CITADA

- Adachi, K., & Tainosho, Y. (2004). Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Environmental International*, 30(8), 9.
- American Society Testing Material (1996). *Cleanup Criteria for Contaminated Soil and Groundwater*. (ASTM Designation: DS-64). West Conshohocken, PA.
- American Society Testing Material (1998). *Superfund Risk Assessment in Soil Contamination Studies: Third Volume*. (ASTM Designation: STP-1338). West Conshohocken, PA.
- American Society Testing Material (2004). *Standard Practice for Use of Scrap Tire in Civil Engineering Applications*. (ASTM Designation: D 6270-98 Re-approved 2004). West Conshohocken, PA.
- Birkholz, D. A., Belton, K. L., & Guidotti T. L. (2003). Toxicological evaluation for the hazard assessment of tire crumb for use in public playgrounds. *Journal of the Air & Waste Association*, 53, 903-907.
- Bush, E., Owings, A., & Leader K. (2003). Foliar accumulation of zinc in tree species grown in hardwood bark media amended with crumb rubber. *Journal of Plant Nutrition*, 26(7), 13.
- DeMere, Mac & Huffman, John P. (1998). Better steel, better tires. *Motor Trend*, 50 (7): 94.
- Ealding, W. (1992). *Final Report on Leachable Metals in Scrap Tires*. Virginia Department of Transportation Materials Division, Virginia Department of Transportation Scrap Tire Task Force.
- Engstrom, G., & Lamb, R. (1994). *Using shredded waste tires for road subgrade*. Maplewood, MN: Minnesota Department of Transportation. (Engstrom et al, 1994)
- Estado Libre Asociado de Puerto Rico. Ley Número 171 de agosto de 1996 (P. del S. #499).
- Estado Libre Asociado de Puerto Rico. Ley Número 21 de 6 de enero de 2000 (P. del S. 1275).
- Estado Libre Asociado de Puerto Rico. Ley Número 184 de 21 de agosto de 2000 (P. del S. 2469).

- Fairley, P. (1999). Goodyear Takes on Vulcan. *Chemical Week*, 161(35): 63-63
- García, I. & Dorronsoro C. (2006). *Contaminacion Por Metales Pesados. Tecnología de Suelos*. Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias. Departamento de Edafología y Química Agrícola: Universidad de Granada, España.
- Huang, Y. (1999). Corrosion and corrosion measurements of steel tire cord. *Wire Journal International*, 32: 74-81.
- Humphrey, D. (1995). *Civil engineering applications of chipped tires*. Orono, Mai: Department of Civil and Environmental Engineering University of Maine.
- Humphrey, D. (2004a). *Civil engineering applications of tire shreds*. California Integrated Waste Management Board, California Environmental Protection Agency, Sacramento, California.
- Humphrey, D. (2004b). Tire derived aggregate-A new geomaterial for your toolbox shreds. *Geo-Strata-Geo Institute of ASCE*, 5(2); 20-22.
- Humphrey, D. & Katz, Lynn E. *Final Report: Water Quality Effects of Using Tire Shreds Below the Groundwater Table*; Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Maine, Orono, M.E. 2002
- Humphrey, D. & Katz, L. E. *Fiev-Yearl Study of the: Water Effects of Tire Shreds Place Above the Water Table*; Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Maine, Orono, M.E. 2001
- Humphrey, D. & Blumenthal, M. (1998). Civil engineering applications of scrap tires: an emerging market. *Resource Recycling*, 1-3.
- Kauffman, G. B (2000). The Goodyear Story. *Chemistry & Industry*, 20 (08/16/2000): 674-76.
- Lee, J.H.; Salgado R & Bernal, A (1999). Shredded tires and rubber-sand as lightweight backfill. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 125 (2): 132-41.
- Liu, H., Mead, J., & Stacer, R. (2005). *Environmental impacts of recycled rubber in light fill applications*. 1st. ed. Chelsea, MA: University of Massachusetts.
- Morales-Muñoz, S., Luque-Garcia, J., & Luque de Castro M. (2004). Demetalization of oils resulting from recycle tires by liquid-liquid extraction using modified superheated water: an environmentally friendly approach. *Talanta*, 63(2), 6.

- Moo-Young, H., Sellasie K., Zeroka D., & Sabnis, G. (2003). Physical and chemical properties of recycled tire shreds for use in construction. *Journal of Environmental Engineering*, 129, 9.
- Moran, T. (2001). The Radial Revolution. *American Heritage*, 16(4):
- Oregon Department of Transportation. *Experimental Project Use of Shredded Tires for Lightweight Fill*. Salem, Oregon, 1991.
- Pierce, C.E & Blackwell, M.C. (2003). Potencial of Scrap Tire Rubber as lightweight aggregate in flowable fill. *Waste Management*, 23(3): 197
- Powell, Jerry (2007). Used Steel From Used Tire. *Resources Recycling*, 26 (12): 27-29.
- National Institute of Environmental Health Science. (2002). Landfills, 2002. U.S.A.
- Reglamento para el Manejo de los Desperdicios Sólidos No-Peligroso, Junta de Calidad Ambiental, (1997)
- Shemenesky, R. M. (1994). Still the right stuff. *Wire journal International*, 27, 70-80.
- Tchobanoglous, G. & F. Kreith. (2002). Landfilling. *Handbook of Solid Waste Management*. 2da Edición. United State of America: Mc Graw-Hill 14.30-14.47.
- The Rubber Manufacturers Association (1989). *A Report on the RMA TCLP Assessment Project*. (Radian Corporation Project). Washington, DC: US
- The Rubber Manufacturers Association, (s.f.). *Scrap tire characteristics*. Retrieved Feb. 06, 2005, from [http://www.rma.org/scrap\\_tires/scrap\\_tire\\_markets/scrap\\_tire\\_characteristics](http://www.rma.org/scrap_tires/scrap_tire_markets/scrap_tire_characteristics)
- U.S. Environmental Protection Agency (1991). *Methods for Determination of Metals in Environmental Samples*. Report No. EPA/600/4-91/010; Washington, D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency (1992). *Toxicity Characteristics Leaching Procedure*, (EPA-SW 846 Method 1311). Washington, DC: US Government Printing Office.
- U.S. Environmental Protection Agency Region 5 & Illinois Protection Agency (2006). *Scrap Tire Cleanup Guidebook*, EPA-905-B-06-001. Illinois, Chicago: US Government Printing Office.
- U.S. *Scrap Tire Markets 2003 Edition*; Rubber Manufacturers Association, Washington, D.C. 2004

Zeliber, J.L. (1991). *Leachate from Scrap Tire: RMA TCLP Report*. Educational Seminar on Scrap Tire Management, Scrap Tire management Council, Washington, DC.

## **TABLAS**

**Table 1.**

***COMPONENTES DEL ACERO (TIRE WIRE)***

	STEEL BELTS	BEAD WIRE
Carbon	0.67-0.73 %	0.60% min
Manganese	0.40-0.70 %	0.40-0.70 %
Silicon	0.15-0.03 %	0.15-0.30 %
Phosphorus	0.03 % max	0.04 % max
Sulfur	0.03 % max	0.04 % max
Cooper	Trace	Trace
Chromium	Trace	Trace
Nickel	Trace	Trace
Coating	66% Copper 34% Zinc	98% Brass 2% Tin

*Estos datos fueron provistos por el "Scrap Tire Management Council" para un neumáticos de pasajero típico.*

**Table 2.**

***MUESTRA DE TRASFONDO (Lab Sample No. 08-1106)***

EPA HAZARDOUS Waste Number	Contaminant	Results (ppm)	Detection Limit (ppm)	Regulatory Level (ppm)
D004	Arsenic	<0.05	0.05	5.0
D005	Barium	0.46	0.05	100.0
D006	Cadmium	<0.05	0.05	1.0
D007	Chromium	<0.05	0.05	5.0
D008	Lead	<0.05	0.05	5.0
D009	Mercury	<0.0009	.0009	0.2
D010	Selenium	<0.05	0.05	1.0
D011	Silver	<0.05	0.05	5.0

**Table 3.**

***MUESTRA DE SUELO 1 (Lab Sample No. 08-1107)***

EPA HAZARDOUS Waste Number	Contaminant	Results (ppm)	Detection Limit (ppm)	Regulatory Level (ppm)
D004	Arsenic	<0.05	0.05	5.0
D005	Barium	0.66	0.05	100.0
D006	Cadmium	<0.05	0.05	1.0
D007	Chromium	<0.05	0.05	5.0
D008	Lead	<0.05	0.05	5.0
D009	Mercury	<0.0009	.0009	0.2
D010	Selenium	<0.05	0.05	1.0
D011	Silver	<0.05	0.05	5.0



**Table 4.**

***MUESTRA DE SUELO 2 (Lab Sample No. 08-1108)***

EPA HAZARDOUS Waste Number	Contaminant	Results (ppm)	Detection Limit (ppm)	Regulatory Level (ppm)
D004	Arsenic	<0.05	0.05	5.0
D005	Barium	1.68	0.05	100.0
D006	Cadmium	<0.05	0.05	1.0
D007	Chromium	<0.05	0.05	5.0
D008	Lead	<0.05	0.05	5.0
D009	Mercury	<0.0009	.0009	0.2
D010	Selenium	<0.05	0.05	1.0
D011	Silver	<0.05	0.05	5.0

**Table 5.**

***MUESTRA DE SUELO 3 (Lab Sample No. 08-1109)***

EPA HAZARDOUS Waste Number	Contaminant	Results (ppm)	Detection Limit (ppm)	Regulatory Level (ppm)
D004	Arsenic	<0.05	0.05	5.0
D005	Barium	2.05	0.05	100.0
D006	Cadmium	<0.05	0.05	1.0
D007	Chromium	<0.05	0.05	5.0
D008	Lead	<0.05	0.05	5.0
D009	Mercury	<0.0009	.0009	0.2
D010	Selenium	<0.05	0.05	1.0
D011	Silver	<0.05	0.05	5.0

**Table 6.**

***CAUCHO TRITURADO - 01 (Lab Sample No. 08-1110)***

EPA HAZARDOUS Waste Number	Contaminant	Results (ppm)	Detection Limit (ppm)	Regulatory Level (ppm)
D004	Arsenic	<0.05	0.05	5.0
D005	Barium	0.09	0.05	100.0
D006	Cadmium	<0.05	0.05	1.0
D007	Chromium	<0.05	0.05	5.0
D008	Lead	<0.05	0.05	5.0
D009	Mercury	<0.0009	.0009	0.2
D010	Selenium	<0.05	0.05	1.0
D011	Silver	<0.05	0.05	5.0

**Table 7.**

***CAUCHO TRITURADO - 02 (Lab Simple No. 08-1111)***

EPA HAZARDOUS Waste Number	Contaminant	Results (ppm)	Detection Limit (ppm)	Regulatory Level (ppm)
D004	Arsenic	<0.05	0.05	5.0
D005	Barium	0.08	0.05	100.0
D006	Cadmium	<0.05	0.05	1.0
D007	Chromium	<0.05	0.05	5.0
D008	Lead	<0.05	0.05	5.0
D009	Mercury	<0.0009	.0009	0.2
D010	Selenium	<0.05	0.05	1.0
D011	Silver	<0.05	0.05	5.0

**Table 8.*****Resultados de TCLP por Radian Corporation***

EPA HAZARDOUS Waste Number	Contami- nant	1(a)	2(a)	3(a)	4(a)	5(a)	6(a)	7(a)	Detect- tion Limit (ppm)	Regula- tory Level (ppm)
D004	Arsenic	<.05	<.05	<.05	<.05	<.05	<.05	<.05	0.001	5.0
D005	Barium	0.083	0.065	0.150	<.05	0.570	0.590	0.021	0.01	100.0
D006	Cadmium	<.05	<.05	<.05	<.05	<.05	<.05	<.05	0.005	1.0
D007	Chromium	0.048	0.026	0.012	0.035	0.037	0.025	0.047	0.01	5.0
D008	Lead	<.05	0.018	0.009	0.014	0.002	0.002	0.018	0.002	5.0
D009	Mercury	0.0002	<.0009	<.0009	<.0009	0.0004	<.0009	<.0009	0.0002	0.2
D010	Selenium	<.05	<.05	<.05	<.05	<.05	<.05	<.05	0.002	1.0
D011	Silver	0	0	0	0	0	0	0	0.05	5.0

**Table 9.*****Niveles de Acción bajo las Acciones Correctivas de RCRA***

EPA HAZARDOUS Waste Number	Contaminant	Soil (mg/kg = ppmw)	Groundwater (mg/L = ppm)	EPA Regulatory Level (ppm)
D004	Arsenic	80	0.05 MCL	5.0
D005	Barium	4000	2.0 MCL	100.0
D006	Cadmium	40	0.005 MCL	1.0
D007	Chromium	400	0.1 MCL	5.0
D008	Lead	---	0.015 MCL	5.0
D009	Mercury	20	0.002 MCL	0.2
D010	Selenium	---	0.05 MCL	1.0
D011	Silver	200	0.1 MCL	5.0

MCL-Niveles Máximo de Concentración en los Estándares de Agua Potable

## **FIGURAS**

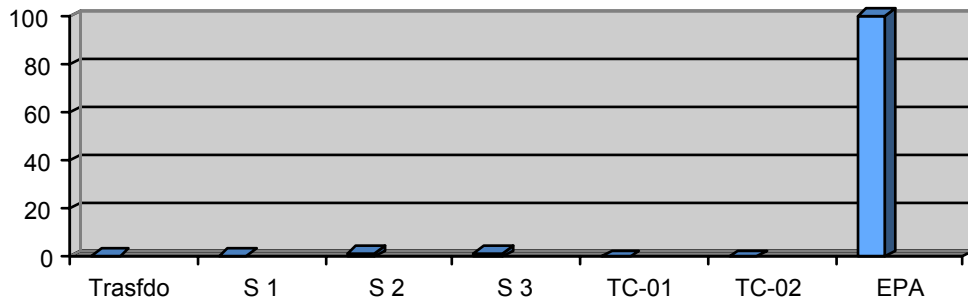


*Figura 1.* Foto aérea de la sección en estudio.





Figura 2. Localización de las muestras de suelo en el proyecto.



*Figura 3.* Comparación de resultados de Boro con niveles de acción para EPA.

## APÉNDICES

Apéndice 1  
ASTM D6270-98 (2004)

- Department of Transportation, Augusta, ME, 1997.
- (9) Cosgrove, T.A., "Interface Strength Between Tire Chips and Geomembrane for Use as a Drainage Layer in a Landfill Cover," *Proceedings of Geosynthetics '95*, Industrial Fabrics Association, St. Paul, MN, Vol 3, 1995, pp. 1157-1168.
  - (10) Humphrey, D.N., Chen, L.H., and Lawrence, B.K., "Use of Tire Chip/Soil Mixtures to Limit Frost Heave and Pavement Damage of Paved Roads," *A Study for the New England Transportation Consortium*, Department of Civil Engineering, University of Maine, Orono, ME, 1998.
  - (11) Humphrey, D.N., Chen, L.H., and Eaton, R.A., "Laboratory and Field Measurement of the Thermal Conductivity of Tire Chips for Use as Subgrade Insulation," Preprint NO. 971289, "Transportation Research Board, Washington, DC, 1997.
  - (12) Zelbor, J.L., "Leachate from Scrap Tires: RMA TCLP Report," *Education Seminar on Scrap Tire Management*, Scrap Tire Management Council, Washington, DC, September, 1991, pp. 381-391.
  - (13) Ealding, W., "Final Report on Leachable Metals in Scrap Tires," Virginia Department of Transportation Materials Division, Virginia Department of Transportation Scrap Tire Task Force, 1992.
  - (14) Downs, L.A., Humphrey, D.N., Katz, L.E., and Rock, C.A., "Water Quality Effects of Using Tire Chips Below the Groundwater Table," A Report Prepared by the Department of Civil and Environmental Engineering, University of Maine, Orono, Maine for the Maine Department of Transportation, 1997.
  - (15) Twin City Testing, "Environmental Study of the Use of Shredded Waste Tires for Roadway Sub-Grade Support," Twin City Testing Corp., St. Paul, MN, Waste Tire Management Unit, Site Response Section, Groundwater and Solid Waste Division, Minnesota Pollution Control Agency, St. Paul, MN, February, 1990.
  - (16) Humphrey, D.N., Katz, L.E., and Blumenthal, M., "Water Quality Effects of Tire Chip Fills Placed Above the Groundwater Table," *Testing Soil Mixed with Waste or Recycled Materials*, ASTM STP 1275, ASTM, 1997, pp. 299-313.
  - (17) Edil, T.B., and Bosscher, P.J., "Engineering Properties of Tire Chips and Soil Mixtures," *Geotechnical Testing Journal*, Vol 17, No. 4, December, 1994, pp. 453-464.
  - (18) Shao, J., Zarling, J.P., and ESCH, D., "Thermal Conductivity of Recycled Tire Rubber for Insulation Beneath Roadways," *Transportation Research Board*, 1995.
  - (19) Bressette, T., "Used Tire Material as an Alternative Permeable Aggregate," *Report No. FHWA/CA/TL-84/07*, Office of Transportation Laboratory, California Department of Transportation, Sacramento, CA, 1984.
  - (20) Benda, C.C., "Engineering Properties of Scrap Tires Used in Geotechnical Applications," *Report 95-1*, Materials and Research Division, Vermont Agency of Transportation, Montpelier, VT, 1995.
  - (21) Humphrey, D.N., Sandford, T.C., Cribbs, M.M., Gharegrat, H., and Manion, W.P., "Tire Chips as Lightweight Backfill for Retaining Walls - Phase I," "A Study for the New England Transportation Consortium, Department of Civil Engineering, University of Maine, Orono, ME, 1992.
  - (22) Humphrey, D.N. and Sandford, T.C., "Tire Chips as Lightweight Subgrade Fill and Retaining Wall Backfill," *Proceedings of the Symposium on Recovery and Effective Reuse of Discarded Materials and By-Products for Construction of Highway Facilities*, Federal Highway Administration, Washington, DC, 1993, pp. 5-87 to 5-99.
  - (23) Humphrey, D.N. Sandford, T.C., Cribbs, M.M., Gharegrat, H., and Manion, W.P., "Shear Strength and Compressibility of Tire Chips for Use as Retaining Wall Backfill," *Transportation Research Record No. 1422*, Transportation Research Board, 1993, pp. 29-35.
  - (24) Hannon, J.B., and Forsyth, R.A., "Fill Stabilization Using Nonbiodegradable Waste Products-Phase I," *Report No. CA-DOT-TL-2124-1-72-25*, Transportation Laboratory, California Department of Transportation, Sacramento, CA, August 1973.
  - (25) Benson, C.H., and Khire, M.V., "Closure to: Reinforcing Sand with Strips of Reclaimed High-Density Polyethylene," *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol 121, No. 4, April, 1995, pp. 400-401.
  - (26) Manion, W.P., and Humphrey, D.N., "Use of Tire Chips as Lightweight and Conventional Embankment Fill, Phase I - Laboratory," *Technical Paper 91-1*, Technical Services Division, Maine Department of Transportation, Augusta, ME, 1992.
  - (27) Drescher, A., and Newcomb, D.E., "Development of Design Guidelines for Use of Shredded Tires as a Lightweight Fill in Road Subgrade and Retaining Walls," *Report No. MN/RC-94/04*, Department of Civil and Mineral Engineering, University of Minnesota, Minneapolis, MN, 1994.
  - (28) Hall, T.J., "Reuse of Shredded Waste Tire Material for Leachate Collection Systems at Municipal Solid Waste Landfills," for Iowa Department of Natural Resources Waste Management and Authority Division, by Shive-Hattery Engineers and Architects, Inc., 1990.
  - (29) Federal Register, July 1, 1993, US Office of the Federal Register, Washington, DC.
  - (30) Viessman, W., Jr., and Hammer, M.J., *Water Supply and Pollution Control*, 4th ed., Harper Collins College Publishers, New York, NY, 1985, pp. 213-231.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-632-9585 (phone), 610-632-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).





## Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 6270; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

### 1. Scope

1.1 This practice provides guidance for testing the physical properties and gives data for assessment of the leachate generation potential of processed or whole scrap tires in lieu of conventional civil engineering materials, such as stone, gravel, soil, sand, or other fill materials. In addition, typical construction practices are outlined.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:<sup>2</sup>

- C 127 Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate
- D 422 Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
- D 698 Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>))
- D 1557 Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>))
- D 2434 Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)
- D 3080 Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions
- D 4253 Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table
- 2.2 AASHTO Standard:
  - T 274 Standard Method of Test for Resilient Modulus of Subgrade Soils<sup>3</sup>
- 2.3 USEPA Standard:
  - Method 1311 Toxicity Characteristics Leaching Procedure<sup>4</sup>

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D34 on Biotechnology and is the direct responsibility of Subcommittee D34.03.03 on Industrial Recovery and Reuse.

Current edition approved June 10, 1998. Published August 1998.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

<sup>3</sup> Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Part II: Methods of Sampling and Testing, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.

<sup>4</sup> Test Methods for Evaluating Solid Waste: Physical/Chemical Methods, 3<sup>rd</sup> ed., Report No. EPA 530/SW-846, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

### 3. Terminology

#### 3.1 Definitions:

- 3.1.1 *baling, n*—a method of volume reduction whereby tires are compressed into bales.
- 3.1.2 *bead, n*—the anchoring part of the tire which is shaped to fit the rim and is constructed of bead wire wrapped by the plies.
- 3.1.3 *bead wire, n*—a high tensile steel wire surrounded by rubber, which forms the bead of a tire that provides a firm contact to the rim.
- 3.1.4 *belt wire, n*—a brass plated high tensile steel wire cord used in steel belts.
- 3.1.5 *buffing rubber, n*—vulcanized rubber usually obtained from a worn or used tire in the process of removing the old tread in preparation for retreading.
- 3.1.6 *carcass, n*—see **casings**.
- 3.1.7 *casings, n*—the basic tire structure excluding the tread (Syn. *carcass*).
- 3.1.8 *granulated rubber, n*—particulate rubber composed of mainly nonspherical particles that span a broad range of maximum particle dimension, from below 425  $\mu\text{m}$  (40 mesh) to 12 mm (also refer to **particulate rubber**).<sup>5</sup>
- 3.1.9 *ground rubber, n*—particulate rubber composed of mainly nonspherical particles that span a range of maximum particle dimensions, from below 425  $\mu\text{m}$  (40 mesh) to 2 mm (also refer to **particulate rubber**).<sup>5</sup>
- 3.1.10 *nominal size, n*—the average size product (chip) that comprises 50 % or more of the through put in a scrap tire processing operation; scrap tire processing operations generate products (chips) above and below the nominal size.
- 3.1.11 *particulate rubber, n*—raw, uncured, compounded or vulcanized rubber that has been transformed by means of a mechanical size reduction process into a collection of particles, with or without a coating of a partitioning agent to prevent agglomeration during production, transportation, or storage (also see definition of **buffing rubber**, **granulated rubber**, **ground rubber**, and **powdered rubber**).<sup>5</sup>
- 3.1.12 *passenger car tire, n*—a tire with less than a 457-mm rim diameter for use on cars only.

<sup>5</sup> The defined term is the responsibility of Committee D11 on Rubber.

3.1.13 *powdered rubber, n*—particulate rubber composed of mainly nonspherical particles that have a maximum particle dimension equal to or below 425  $\mu\text{m}$  (40 mesh) (also refer to **particulate rubber**).<sup>5</sup>

3.1.14 *rough shred, n*—a piece of a shredded tire that is larger than 50 mm by 50 mm by 50 mm, but smaller than 762 mm by 50 mm by 100 mm.

3.1.15 *rubber fines, n*—small particles of ground rubber that result as a by-product of producing shredded rubber.

3.1.16 *scrap tire, n*—a tire, which can no longer be used for its original purpose due to wear or damage.

3.1.17 *shred sizing, n*—a term which generally refers to the process of particles passing through a rated screen opening rather than those which are retained on the screen.

3.1.18 *shredded tire, n*—a size reduced scrap tire where the reduction in size was accomplished by a mechanical processing device, commonly referred to as a shredder.

3.1.19 *shredded rubber, n*—pieces of scrap tires resulting from mechanical processing.

3.1.20 *sidewall, n*—the side of a tire between the tread shoulder and the rim bead.

3.1.21 *single pass shred, n*—a shredded tire that has been processed by one pass through a shear type shredder and the resulting pieces have not been classified by size.

3.1.22 *steel belt, n*—rubber coated steel cords that run diagonally under the tread of steel radial tires and extend across the tire approximately the width of the tread.

3.1.23 *tire chips, n*—Pieces of scrap tires that have a basic geometrical shape and are generally between 12 mm and 50 mm in size and have most of the wire removed (Syn. *chipped tire*).

3.1.24 *tire shreds, n*—Pieces of scrap tires that have a basic geometrical shape and are generally between 50 mm and 305 mm in size.

3.1.25 *tread, n*—that portion of the tire which contacts the road.

3.1.26 *truck tire, n*—a tire with a rim diameter of 500 mm or larger.

3.1.27 *waste tire, n*—a tire which is no longer capable of being used for its original purpose but which has been disposed of in such a manner that it cannot be used for any other purpose.

3.1.28 *whole tire, n*—a scrap tire that has been removed from a rim but which has not been processed.

3.1.29 *x-mm minus, n*—pieces of classified, size reduced scrap tires where the maximum size of 95 % of the pieces is less than x-mm in any dimension (that is, 25-mm minus; 50-mm minus; 75-mm minus, etc).

#### 4. Significance and Use

4.1 This practice is intended for use of scrap tires including tire chips or tire shreds comprised of pieces of scrap tires, tire chip/soil mixtures, tire sidewalls, and whole scrap tires in civil engineering applications. This practice includes the use of tire chips, tire shreds, and tire chip/soil mixtures as lightweight embankment fill, lightweight retaining wall backfill, drainage layers, thermal insulation to limit frost penetration beneath roads, insulating backfill to limit heat loss from buildings, and replacement for soil or rock in other fill applications. Use of

whole scrap tires and tire sidewalls includes construction of retaining walls and drainage culverts, as well as use as fill when whole tires have been compressed into bales. It is the responsibility of the design engineer to determine the appropriateness of using scrap tires in a particular application and to select applicable tests and specifications to facilitate construction and environmental protection. This practice is intended to encourage wider utilization of scrap tires in civil engineering applications.

4.2 Three tire shred fills with thicknesses in excess of 7 m have experienced a serious heating reaction; however, more than 70 fills with a thickness less than 3 m have been constructed with no evidence of a deleterious heating reaction (1)<sup>6</sup>. Guidelines have been developed to minimize internal heating of tire shred fills (2) as discussed in 6.10. The guidelines are applicable to fills less than 3 m thick; thus, this practice should be applied only to tire shred fills less than 3 m thick.

#### 5. Material Characterization

5.1 The specific gravity and water absorption capacity of tire shreds should be determined in accordance with Test Method C 127; however, the specific gravity of tire shreds is less than half the value obtained for common earthen coarse aggregate, so it is permissible to use a minimum weight of test sample that is half of the specified value. The particle density or density of solids of tire shreds ( $\rho_s$ ) may be determined from the apparent specific gravity using the following equation:

$$\rho_s = S_a (\rho_w) \quad (1)$$

where:

$S_a$  = apparent specific gravity, and

$\rho_w$  = density of water.

5.2 The gradation of tires shreds should be determined in accordance with Test Method D 422; however, the specific gravity of tire shreds is less than half the values obtained for common earthen materials so it is permissible to use a minimum weight of test sample that is half of the specified value.

5.3 The laboratory compacted dry density, or bulk density, of tire chips and tire chip/soil mixtures with less than 30 % retained on the 19.0-mm sieve can be determined in accordance with Test Method D 698 or D 1557. Tire Shred and tire shred/soil mixtures used for civil engineering applications, however, almost always have more than 30 % retained on the 19.0-mm sieve, so these methods generally are not applicable. A larger compaction mold should be used to accommodate the larger size of the tire shreds. The sizes of typical compaction molds are summarized in Table 1. The larger mold requires that the number of layers, or the number of blows of the rammer/layer, or both, be increased to produce the desired compactive energy/unit volume. Compactive energies ranging from 60 % of Test Method D 698 ( $60\% \times 600 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3 = 360 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ) to 100 % of Test Method D 1557 ( $2,700 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ) have been used. Compaction energy only has a small effect on the

<sup>6</sup> The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this standard.



**TABLE 1 Size of Compaction Molds Used to Determine Dry Density of Tire Shreds**

Maximum Particle Size (mm)	Mold Diameter (mm)	Mold Volume (m <sup>3</sup> )	Reference
75	254	0.0125	(3)
75	305	0.0146	(4)
51	203 and 305	N.R. <sup>a</sup>	(5)

<sup>a</sup> N.R. = not reported.

resulting dry density (3); thus, for most applications it is permissible to use a compactive energy equivalent to 60 % of Test Method D 698. To achieve this energy with a mold volume of 0.0125 m<sup>3</sup> would require that the sample be compacted in five layers with 44 blows/layer with a 44.5 N rammer falling 457 mm. The water content of the sample only has a small effect on the compacted dry density (3) so it is permissible to perform compaction tests on air or oven-dried samples.

5.3.1 The dry densities for tire shreds loosely dumped into a compaction mold and tire shreds compacted by vibratory methods (similar to Test Method D 4253) are about the same (4, 5, 6); thus, vibratory compaction of tire shreds in the laboratory (see Test Method D 4253) should not be used.

5.3.2 When estimating an in-place density for use in design, the compression of a tire shred layer under its own self-weight and under the weight of any overlying material must be considered. The dry density determined as discussed in 5.3 are uncompressed values. In addition, short-term time dependent settlement of tire shreds should be accounted for when estimating the final in-place density (7).

5.4 The compressibility of tire shreds and tire shred/soil mixtures can be measured by placing tire shreds in a rigid

cylinder with a diameter several times greater than the largest particle size and then measuring the vertical strain caused by an increasing vertical stress. If it is desired to calculate the coefficient of lateral earth pressure at rest  $K_0$ , the cylinder can be instrumented to measure the horizontal stress of the tire shreds acting on the wall of the cylinder.

5.4.1 The high compressibility of tire shreds necessitates the use of a relatively thick sample. In general, the ratio of the initial specimen thickness to sample diameter should be greater than one. This leads to concerns that a significant portion of the applied vertical stress could be transferred to the walls of the cylinder by friction. If the stress transferred to the walls of the cylinder is not accounted for, the compressibility of the tire shreds will be underestimated. For all compressibility tests, the inside of the container should be lubricated to reduce the portion of the applied load that is transmitted by side friction from the sample to the walls of the cylinder. For testing where a high level of accuracy is desired, the vertical stress at the top and the bottom of the sample should be measured so that the average vertical stress in the sample can be computed. A test apparatus designed for this purpose is illustrated in Fig. 1 (8).

5.5 The resilient modulus ( $M_R$ ) of subgrade soils can be expressed as:

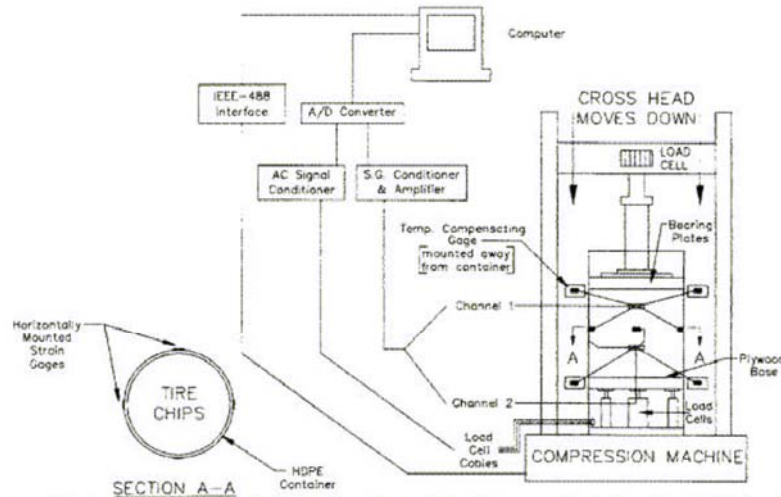
$$M_R = A\theta^B \quad (2)$$

where:

$\theta$  = first invariant of stress (sum of the three principal stresses),

$A$  = experimentally determined parameter, and

$B$  = experimentally determined parameter.



**FIG. 1 Compressibility Apparatus for Tire Shreds Designed to Measure Lateral Stress and the Portion of the Vertical Load Transferred by Friction from Tire Shreds to Container (8)**



Tests for the parameters A and B can be conducted according to AASHTO T 274. The maximum particle size typically is limited to 19 mm by the testing apparatus, which precludes the general applicability of this procedure to the larger size tire chips and shreds typically used for civil engineering applications.

5.6 The coefficient of lateral earth pressure at rest  $K_0$  and Poisson's ratio  $\mu$  can be determined from the results of confined compression tests where the horizontal stresses were measured. A test apparatus designed for this purpose is shown in Fig. 1.  $K_0$  and  $\mu$  are calculated from:

$$K_0 = \sigma_h / \sigma_v \quad (3)$$

$$\mu = K_0 / (1 + K_0) \quad (4)$$

where:

$\sigma_h$  = measured horizontal stress, and  
 $\sigma_v$  = measured vertical stress.

5.7 The shear strength of tire shreds may be determined in a direct shear apparatus in accordance with Test Method D 3080 or using a triaxial shear apparatus. The large size of tire shreds typically used for civil engineering applications requires that specimen sizes be several times greater than used for common soils. Because of the limited availability of large triaxial shear apparatus, this method is generally restricted to tire chips 25 mm in size and smaller. Extrapolation of results on small size pieces to the 75-mm and larger size shreds used for civil engineering applications is uncertain since small pieces are nearly equidimensional while larger tire chips and shreds tend to be long and flat. Furthermore, the triaxial shear apparatus generally is not suitable for tire shreds that have steel belts protruding from the cut edges of the shreds since the

wires would puncture the membrane used to surround the specimen. The interface strength between tire shreds and geomembrane can be measured in a large scale direct shear test apparatus (9).

5.8 The hydraulic conductivity (permeability) of tire shreds and tire shred/soils mixtures should be measured with a constant head permeameter with a diameter several times greater than the maximum particle size. Tire chips with a maximum size smaller than 19 mm can be determined in accordance with Test Method D 2434; however, tire shreds and tire shred/soil mixtures used for civil engineering applications almost always have a majority of their particles larger than 19 mm so this method is generally not applicable. Samples should be tested at a void ratio comparable to the value expected in the field. This may require a permeameter capable of applying a vertical stress to the sample to simulate the compression that would occur under the weight of overlying material. The high hydraulic conductivity of tire shreds should be accounted for in design of the permeameter. The design shall include provisions for an adequate supply of water and measuring the head loss across the sample using standpipes mounted on the body of the permeameter. An apparatus designed taking these factors into account is shown in Fig. 2 (10).

5.9 The thermal conductivity of tire shreds is significantly lower than for common soils. For tire chips smaller than 25 mm in size, the thermal conductivity can be measured using commercially available guarded hot plate apparatus. For tire shreds larger than 25 mm, it is necessary to construct a large scale hot plate apparatus (11). The thermal conductivity of tire shreds also can be backcalculated from field measurements (11).

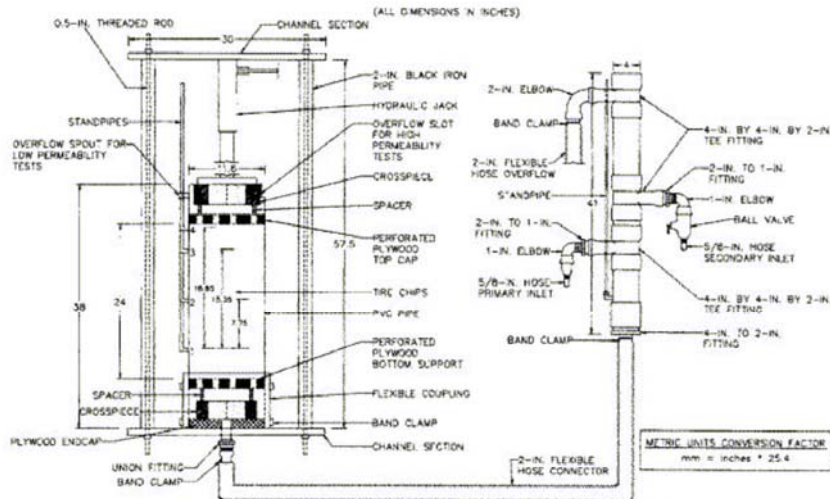


FIG. 2 Hydraulic Conductivity Apparatus for Tire Shreds with Provisions for Application of Vertical Stress (10)

## 6. Construction Practices

6.1 Tire shreds have a compacted dry density that is one-third to one-half of the compacted dry density of typical soil. This makes them an attractive lightweight fill for embankment construction on weak, compressible soils where slope stability or excessive settlement are a concern.

6.2 The thermal resistivity of tire shreds is approximately eight times greater than for typical granular soil. For this reason, tire shreds can be used as a 150 to 450-mm thick insulating layer to limit the depth of frost penetration beneath roads. This reduces frost heave in the winter and improves subgrade support during the spring thaw. In addition, tire shreds can be used as backfill around basements to limit heat lost through basement walls, thereby reducing heating costs.

6.3 The low-compacted dry density, high-hydraulic conductivity, and low-thermal conductivity makes tire shreds very attractive for use as retaining wall backfill. Lateral earth pressures for tire shred backfill can be about 50 % of values obtained for soil backfill (7). Tire shreds also can be used as backfill for geosynthetic-reinforced retaining walls.

6.4 The high hydraulic conductivity of tire shreds, generally greater than 1 cm/s, makes them suitable for many drainage applications, including French drains, drainage layers in landfill liner and cover systems, and leach fields for on-site sewage disposal systems.

6.5 Two different sizes of tire shreds commonly are used for the applications discussed above. One has a maximum size of 75 mm and the other has a maximum size of 300 mm. Rough shreds also can be used for some applications provided all tires are shredded such that the largest shred is the lesser of one-quarter circle in shape or 600 mm in length. In all cases, at least one side wall should be severed from the tread.

6.6 Tire shreds with a maximum size of 75 mm or 300 mm generally are placed in 300-mm thick lifts and compacted by a tracked bulldozer, sheepsfoot roller, or smooth drum vibratory roller with a minimum operating weight of 90 kN. Rough shreds generally are placed in 900-mm thick lifts and compacted by a tracked bulldozer. For most applications, a minimum of six passes of the compaction equipment should be used.

6.7 Tire shreds should be covered with a sufficient thickness of soil to limit deflections of overlying pavement caused by traffic loading. Soil cover thicknesses as low as 0.8 m may be suitable for roads with light traffic. For roads with heavy traffic, 1 to 2 m of soil cover may be required. For unpaved applications, 0.3 to 0.5 m of soil cover may be suitable depending on the traffic loading. The designer should assess the actual thickness of soil cover needed based on the loading conditions, tire-shred layer thickness, pavement thickness, and other conditions as appropriate for particular project. Regardless of the application, the tire shreds should be covered with soil to prevent contact between the public and the tire shreds, which may have exposed steel belts.

6.8 In applications where pavement will be placed over the tire shred layer and in drainage applications, the tire shred layer should be wrapped completely in a layer of nonwoven or woven geotextile to minimize infiltration of soil particles into the voids between the tire shreds.

6.9 Whole tires and tire sidewalls that have been cut from the tire carcass can be used to construct retaining walls and bound together to form drainage culverts.

6.10 Tire shred fills should be designed to minimize the possibility of an internal heating reaction (2). Possible causes of the reaction are oxidation of the exposed steel belts and oxidation of the rubber. Microbes may play a role in both reactions. Although details of the reaction are under study, the following factors are thought to create conditions favorable for oxidation of exposed steel, or rubber, or both; free access to air; free access to water; retention of heat caused by the high insulating value of tire shreds in combination with a large fill thickness; large amounts of exposed steel belts; smaller tire shred sizes and excessive amounts of granulated rubber particles; and, the presence of inorganic and organic nutrients that would enhance microbial action.

6.10.1 The design guidelines given in the following sections have been developed to minimize the possibility for heating of tire shred fills by minimizing factors that could possibly create conditions favorable for this reaction. As more is learned about the causes of the reaction, it may be possible to ease some of the guidelines. In developing these guidelines, the insulating effect caused by increasing fill thickness and the favorable performance of projects with tire shred fills less than 4-m thick have been considered; thus, design guidelines are less stringent for projects with thinner tire shred layers. The guidelines are divided into two classes; Class I Fills with tire shred layers less than 1-m thick, and Class II Fills with tire shred layers in the range of 1-m to 3-m thick. Although there have been no projects with less than 4-m of tire shred fill that have experienced a catastrophic heating reaction, to be conservative, tire shred layers greater than 3-m thick are not recommended. In addition to the guidelines given below, the designer must choose the maximum tire shred size, thickness of overlying soil cover, etc., to meet the requirements imposed by the engineering performance of the project. These guidelines are for use in designing tire shred fills. Design of fills that are mixtures or alternating layers of tire shreds and mineral soil that is free from organic matter should be handled on a case by case basis.

6.10.2 For both Class I and II Fills, the tire shreds shall be free of all contaminants, such as oil, grease, gasoline, diesel fuel, etc., that could create a fire hazard. In no case shall the tire shreds contain the remains of tires that have been subjected to a fire because the heat of a fire may liberate liquid petroleum products from the tire that could create a fire hazard when the shreds are placed in a fill.

6.10.3 For Class I Fills, the tire shreds shall have a maximum of 50 % (by weight) passing the 38-mm sieve and a maximum of 5 % (by weight) passing the 4.75-mm sieve. No special design features are required to minimize heating of Class I Fills.

6.10.4 For Class II Fills, the tire shreds shall have a maximum of 25 % (by weight) passing the 38-mm sieve and a maximum of 1 % (by weight) passing the 4.75-mm sieve. The tire shreds shall be free from fragments of wood, wood chips, and other fibrous organic matter. The tire shreds shall have less than 1 % (by weight) of metal fragments, which are not at least partially encased in rubber. Metal fragments that are encased



partially in rubber shall protrude no more than 25 mm from the cut edge of the tire shred on 75 % of the pieces and no more than 50 mm on 100 % of the pieces.

6.10.5 Class II Fills shall be constructed in such a way that infiltration of water and air is minimized; moreover, there shall be no direct contact between tire shreds and soil containing organic matter, such as topsoil. One possible way to accomplish this is to cover the top and sides of the fill with a 0.5-m thick layer of compacted mineral soil with a minimum of 30 % fines. The mineral soil should be free from organic matter and should be separated from the tire shreds with a geotextile. The top of the mineral soil layer should be sloped so that water will drain away from the tire shred fill. Additional fill may be placed on top of the mineral soil layer as needed to meet the overall design of the project. If the project will be paved, it is recommended that the pavement extend to the shoulder of the embankment or that other measures be taken to minimize infiltration at the edge of the pavement.

6.10.6 For Class II Fills, use of drainage features located at the bottom of the fill that could provide free access to air should be avoided. Use of drainage features includes, but is not limited to, open graded drainage layers daylighting on the side of the fill and drainage holes in walls. Under some conditions, it may be possible to use a well graded granular soil as a drainage layer. The thickness of the drainage layer at the point where it daylighting on the side of the fill should be minimized. For tire shred fills placed against walls, it is recommended that the drainage holes in the wall be covered with well graded granular soil. The granular soil should be separated from the tire shreds with geotextile.

#### 7. Leachate

7.1 The Toxicity Characteristics Leaching Procedure (TCLP) (USEPA Method 1311) is used to determine if a waste is a hazardous waste, thereby posing a significant hazard to human health due to leaching of toxic compounds. The TCLP test represents the worst case scenario of acid rain percolating

through the waste and exiting as leachate. For all regulated metals and organics, the results for tire shreds are well below the TCLP regulatory limits (12, 13, 14); therefore, tire shreds are not classified as a hazardous waste.

7.2 In addition to TCLP tests, laboratory leaching studies have been performed following several test protocols. Results show that metals are leached most readily at low pH and that organics are leached most readily at high pH (14, 15); thus, it is preferable to use tire shreds in environments with a near neutral pH.

7.3 Field studies of tire shred fills located above the ground water table show that tire shreds tend to leach manganese, and under some circumstances, iron at levels above their secondary drinking water standard (4, 16). Since secondary standards are based on aesthetic factors, such as color, odor, and taste, rather than health concerns, release of manganese and iron from tire shreds is not a significant concern. Release of organics from tire shreds placed above the water table generally is below test method detection limits (16); thus, release of organics from tire shreds placed above the water table is not a significant concern.

7.4 For tire shreds placed below the water table, tire shreds release levels of manganese and iron that are significantly above their secondary drinking water standards (14); thus, tire shreds should be used below the water table only where the aesthetic concerns raised by elevated levels of manganese and iron have been examined. Tire shreds placed below the water table leach low levels of a few organic compounds into the ground water (14). Further study is needed to determine if these levels are high enough to be of concern. Pending continued studies of the effect of tire shreds placed below the water table on organic levels, the use of tire shreds should be limited to above water table applications.

#### 8. Keywords

8.1 construction practices; landfills; leachate; lightweight fill; retaining walls; roads; scrap tires

### APPENDIX

#### (Nonmandatory Information)

##### X1. Typical Material Properties

X1.1 This appendix contains typical properties of tire chips and shreds to aid in the selection of values for preliminary designs and to provide a basis for comparison for test results.

X1.2 Values of specific gravity and water absorption capacity reported in the literature are summarized in Table X1.1. Table X1.2 summarizes the compacted and uncompact dry density of tire shreds. Compaction results for mixtures of tire shreds and soil also are available (4, 5, 6, 17). The results from one study are summarized in Fig. X1.1.

X1.3 Typical compressibility results are summarized in Table X1.3. A measure of compressibility applicable to vehicle loads is resilient modulus. Results determined by Ahmed (5)

using AASHTO T 274-82 for mixtures of tire chips and soil are summarized in Table X1.4. The parameter  $M_R$ , and therefore  $M_R$ , decreases as the percent tire shreds by dry weight of the mix increases. Results determined by Edil and Bosscher (4, 17) for mixtures of tire shreds and sand are summarized in Fig. X1.2. Shao et al (18) performed resilient modulus tests on crumb rubber (7-mm maximum size) and rubber buffings (1-mm maximum size). The resilient modulus values ranged from 700 to 1700 kPa.

X1.4 Typical values of coefficient of lateral earth pressure at rest and Poisson's ratio, measured as part of vertical compression tests, are presented in Table X1.5.

**TABLE X1.1 Summary of Specific Gravity and Water Absorption Capacity**

Tire Shred Type	Specific Gravity			Water Absorption Capacity (%)	Reference
	Bulk	Saturated Surface Dry	Apparent		
Glass belted (F and B)	----	----	1.14	3.8	(21)
Glass belted	0.98	1.02	1.02	4	(26)
Steel belted	1.06	1.01	1.10	4	(26)
Mixture	1.06	1.16	1.18	9.5	(19)
Mixture (Pine State)	----	----	1.24	2	(21)
Mixture (Palmer)	----	----	1.27	2	(21)
Mixture (Sawyer)	----	----	1.23	4.3	(21)
Mixture	1.01	1.05	1.05	4	(26)
Mixture (12.7 mm to 50.8 mm)	----	0.88 to 1.13	----	----	(5)

**TABLE X1.2 Summary of Laboratory Dry Densities of Tire Shreds**

Compaction Method <sup>a</sup>	Particle Size Range (mm)	Tire Shred Type	Source of Tire Shreds	Dry Density (kg/m <sup>3</sup> )	(Reference)
Loose	2 to 75	Mixed	Palmer Shredding	341	(21, 22)
Loose	2 to 51	Mixed	Pine State Recycling	482	(21, 22)
Loose	2 to 25	Glass	F and B Enterprises	495	(21, 22)
Loose	2 to 51	Mixed	Sawyer Environmental	409	(3, 26)
Loose	51 max	Mixed	----	466	(5, 6)
Loose	25 max	Mixed	----	489	(5, 6)
Vibration	25 max	Mixed	----	496	(5, 6)
Vibration	13 max	Mixed	----	473	(5, 6)
50 % Standard	51 max	Mixed	----	614	(5, 6)
50 % Standard	25 max	Mixed	----	641	(5, 6)
60 % Standard	2 to 75	Mixed	Palmer Shredding	620	(21, 22)
60 % Standard	2 to 51	Mixed	Pine State Recycling	643	(21, 22)
60 % Standard	2 to 25	Glass	F and B Enterprises	618	(21, 22)
60 % Standard	2 to 51	Mixed	Sawyer Environmental	626	(3, 26)
Standard	2 to 51	Mixed	Sawyer Environmental	640	(3, 26)
Standard	51 max	Mixed	----	635	(5, 6)
Standard	38 max	Mixed	----	645	(5, 6)
Standard	25 max	Mixed	----	653	(5, 6)
Standard	13 max	Mixed	----	633	(5, 6)
Standard	20 to 75	----	Rodefeld	594 <sup>b</sup>	(4, 17)
Standard	20 to 75	----	Rodefeld	560 <sup>c</sup>	(4, 17)
Modified	2 to 51	Mixed	Sawyer Environmental	660	(3, 26)
Modified	51 max	Mixed	----	668	(5, 6)
Modified	25 max	Mixed	----	685	(5, 6)
----	50.8	Mixed	----	410 to 570	(19)

<sup>a</sup> Compaction methods:

- Loose = no compaction; tire shreds loosely dumped into compaction mold
- Vibration = Test Method D 4253
- 50 % Standard = Impact compaction with compaction energy of 296.4 kJ/m<sup>3</sup>.
- 60 % Standard = Impact compaction with compaction energy of 355.6 kJ/m<sup>3</sup>.
- Standard = Impact compaction with compaction energy of 296.4 kJ/m<sup>3</sup>.
- Modified = Impact compaction with compaction energy of 2693 kJ/m<sup>3</sup>.

<sup>b</sup> 152-mm diameter mold compacted by 4.54 kg rammer falling 305 mm.  
<sup>c</sup> 305-mm diameter mold compacted by 27.4 kg rammer falling 457 mm.

X1.5 The shear strength of tire shreds has been measured using triaxial shear (5, 19, 20) and using direct shear (9, 21, 23). Failure envelopes for tests conducted at low stress levels (less than about 100 kPa) are compared in Fig. X1.3. The failure envelopes are non-linear and concave down, so when fitting a linear failure envelope to the data, it is important that this be done over the range of stresses that will occur in the field.

X1.6 The shear strength of tire shred/soil mixtures has been

measured using triaxial shear (4, 24) and direct shear (4, 25). Table X1.6 and Table X1.7 summarize the results from Ahmed (5). Edil and Bosscher (4), and Benson and Khire (25) are interested primarily in the reinforcing effect of tire shreds when added to a sand. Under some circumstances, the shear strength is increased by adding tire shreds.

X1.7 Typical hydraulic conductivities for tire shreds and mixtures of tire shreds and soil are reported in Table X1.8 and Table X1.9 and Fig. X1.4.

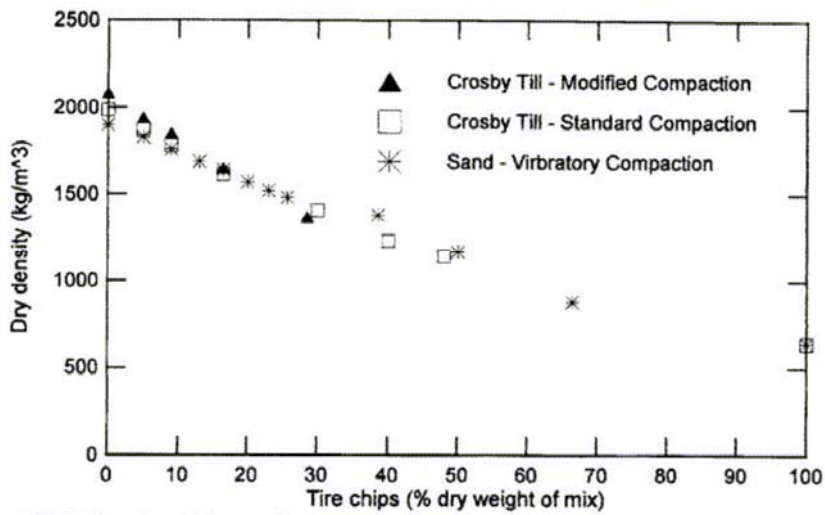


FIG. X1.1 Comparison of Compacted Dry-Density of Mixtures of Tire Shreds with Ottawa Sand and Crosby Till (5)

TABLE X1.3 Compressibility on Initial Loading

Particle Size Range (mm)	Tire Shred Type	Tire Shred Source	Initial Dry Density (kg/m³)	Vertical Strain (%) at Indicated Vertical Stress (kPa)					Reference
				10	25	50	100	200	
2 to 75	Mixed	Palmer	Compacted	7 to 11	16 to 21	23 to 27	30 to 34	38 to 41	(26)
2 to 51	Mixed	Pine State	Compacted	8 to 14	15 to 20	21 to 26	27 to 32	33 to 37	(21)
2 to 25	Glass	F and B	Compacted	5 to 10	11 to 16	18 to 22	26 to 28	33 to 35	(21)
2 to 51	Mixed	Sawyer	Compacted	5 to 10	13 to 18	17 to 23	22 to 30	29 to 37	(26)
75 max	Mixed	Pine State	Compacted	4 to 5	8 to 11	13 to 16	18 to 23	27	(5)
2 to 51	Mixed	Pine State	Loose	18	34	41	46	52	(21)
2 to 25	Mixed	F and B	Loose	8	18	28	37	45	(21)
- - -	- - -	- - -	Loose	9	12 to 17	17 to 24	24 to 31	30 to 38	(27)

X1.8 Measured thermal conductivities ranged from 0.0838 Cal/m-hr-°C for 1-mm particles tested in a thawed state with a water content less than 1% and with low compaction to 0.147 Cal/m-hr-°C for 25 mm tire shreds tested in a frozen state with a water content of 5% and high compaction (18). The thermal conductivity increased with increasing particle size, increased water content, and increased compaction. The thermal conductivity was higher for tire shreds tested under frozen conditions than when tested under thawed conditions. A thermal conductivity of 0.2 Cal/m-hr-°C was backcalculated from a field trial constructed using tire shreds with a maximum size of 51 mm (11). It is reasonable that the back calculated thermal conduc-

tivity is higher than found by Shao et al (18) since the tire shreds for the former were larger and contained more steel bead wire and steel belt.

X1.9 The results of TCLP tests for regulated metals are summarized in Table X1.10. Results of field studies of the effect of tire chips on water quality are summarized in Table X1.11 and Table X1.12, as well as Fig. X1.5 and Fig. X1.6.

X1.10 A typical material safety data sheet for whole scrap tires is included in Fig. X1.7.

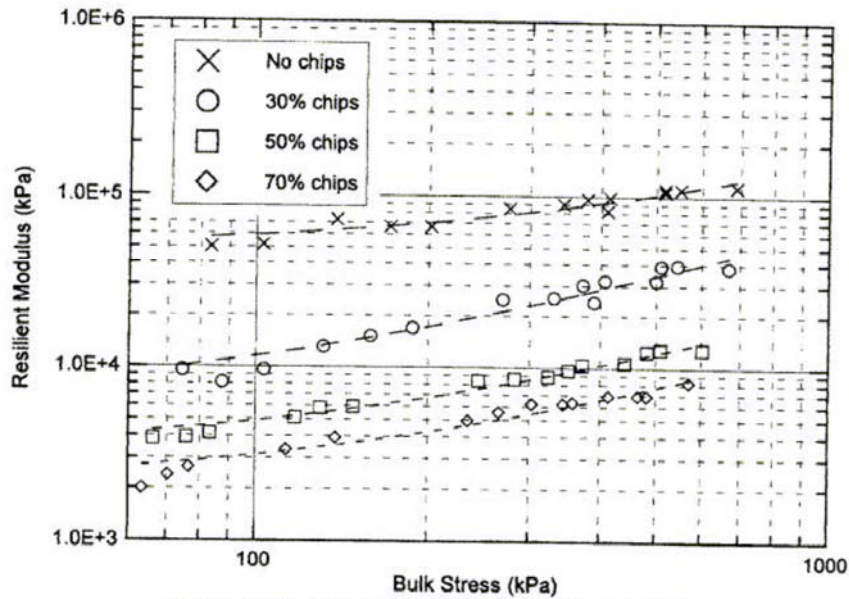


**D 6270 - 98 (2004)**

**TABLE X1.4 Resilient Modulus of Tire Shreds and Tire Shred/Soil Mixtures (5)**

NOTE 1—Constants A and B are the constants for the regression equation and  $r^2$  is the regression coefficient.  
 NOTE 2—Standard = Standard Proctor Energy = 296.4 kJ/m<sup>3</sup>.  
 NOTE 3—The constants A and B assume the units for  $\theta$  and  $M_p$  are psi (1 psi = 6.89 kPa).

Test No.	Tire Shred Maximum Size (mm)	Sample Preparation	% Tire Shreds Based on Total Weight	Soil Type	Constant A	Constant B	$r^2$
AH01	No shreds	Vibratory	No shreds	Sand	1071.5	0.84	0.95
AH02	13	Vibratory	15	Sand	524.8	0.83	0.95
AH03	13	Vibratory	30	Sand	269.2	0.90	0.87
AH04	13	Vibratory	38	Sand	42.7	1.15	0.89
AH05	13	Vibratory	50	Sand	38.9	0.83	0.84
AH06	13	Vibratory	100	Sand	36.3	0.55	0.74
AH07	19	Vibratory	38	Sand	34.7	1.21	0.92
AH08	No shreds	Standard	No shreds	Crosby Till	3162.3	0.49	0.83
AH09	13	Standard	15	Crosby Till	53.7	1.15	0.91
AH10	13	Standard	29	Crosby Till	61.7	0.91	0.94
AH11	13	Standard	38	Crosby Till	55.0	0.87	0.95



**FIG. X1.2 Resilient Modulus of Mixtures of Tire Shreds and Clean Sand (4)**

**TABLE X1.5 Summary of Coefficient of Lateral Earth Pressure at Rest and Poisson's Ratio**

Particle Size Range (mm)	Tire Shred Type	Source of Tire Shreds	$K_0$	$\mu$	References
2 to 51	Mixed	Sawyer Environmental	0.44	0.30	(3, 26)
2 to 75	Mixed	Palmer Shredding	0.26	0.20	(21, 22)
2 to 51	Mixed	Pine State Recycling	0.41	0.28	(21, 22)
2 to 25	Glass	F and B Enterprises	0.47	0.32	(21, 22)
-----	-----	-----	-----	0.3 to	(4, 17)
13 to 51	Mixed	Maust Tire Recyclers	0.4 <sup>a</sup>	0.17	(27)

<sup>a</sup> For vertical stress less than 172 kPa.

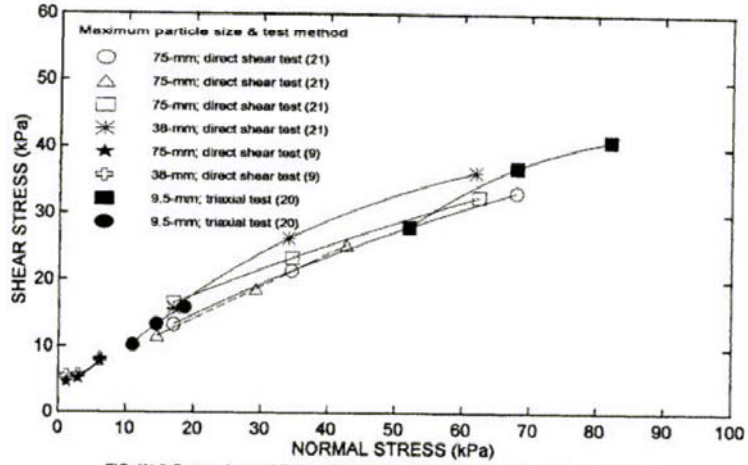


FIG. X1.3 Comparison of Failure Envelops of Tire Shreds at Low Stress Levels

**D 6270 - 98 (2004)**

**TABLE X1.6 Shear Strength of Mixtures of Tire Shreds and Ottawa Sand (5)**

NOTE 1—All samples are prepared by using vibratory compaction.  
 NOTE 2—Chip ratio is the air dried weight to chips divided by dry weight of mix, expressed in percent.  
 NOTE 3— $\sin \phi = \tan \alpha$ ;  $c = \%_{\text{mix}} \phi$ .


Test No.	Size of Chips (in.)	Chip/Mix Ratio (%)	Confining Pressure (psi)	Strain Levels (%)	a (psi)	$\tan \alpha$	$r^2$	c (psi)	$\phi$ (°)
TRS01	No-Chip	0	4.50	5	-0.24	0.6615	0.9998	0	41.41
TRS02	No-Chip	0	14.36	10	-	-	-	-	-
TRS03	No-Chip	0	28.86	15	-	-	-	-	-
TRS04	1.00	16.5	4.64	5	2.17	0.6006	0.9996	2.71	36.91
TRS05	1.00	16.5	14.50	10	1.05	0.6252	0.9998	1.35	38.70
TRS06	1.00	16.5	28.86	15	-	-	-	-	-
TRS07	1.00	29.16	4.50	5	5.52	0.4944	0.9943	6.36	29.63
TRS08	1.00	29.16	14.50	10	3.04	0.6110	0.9992	3.84	37.66
TRS09	1.00	29.16	28.86	15	2.65	0.6286	0.9993	3.41	38.95
TRS10	1.00	40.00	4.64	5	5.15	0.3957	0.9988	5.61	23.31
TRS11	1.00	40.00	14.36	10	5.13	0.5413	0.9972	6.10	32.77
TRS12	1.00	40.00	28.86	15	4.09	0.6013	0.9999	5.12	36.96
TRS13	1.00	50.00	4.64	5	-0.68	0.3562	0.9601	0.00	20.87
TRS14	1.00	50.00	14.36	10	4.54	0.4362	0.9986	5.05	25.86
TRS15	1.00	50.00	28.71	15	3.84	0.5519	0.9986	4.60	33.50
TRS16	1.00	66.54	4.50	5	2.23	0.1699	0.9699	2.26	9.78
TRS17	1.00	66.54	14.36	10	1.89	0.3324	0.9901	2.00	19.41
TRS18	1.00	66.54	28.71	15	4.91	0.3759	0.9992	5.30	22.08
TRS19	0.50	37.85	4.64	5	5.26	0.3891	0.9998	5.71	22.90
TRS20	0.50	37.85	14.50	10	5.48	0.5383	1.0000	6.50	32.57
TRS21	0.50	37.85	28.71	15	4.42	0.6238	0.9998	5.68	38.59
TRS22	1.00	38.78	4.64	5	6.55	0.4299	0.9964	7.25	25.46
TRS23	1.00	39.32	14.36	10	5.17	0.5684	0.9985	6.28	34.64
TRS24	1.00	39.37	28.71	15	4.08	0.617	0.9999	5.18	38.10

**TABLE X1.7 Shear Strength of Mixtures of Tire Shreds and Crosby Till (5)**

NOTE 1—Chip ratio is the air dried weight of chips divided by dry weight of mix, expressed in percent.  
 NOTE 2— $\sin \phi = \tan \alpha$ ;  $c = \%_{\text{mix}} \phi$ .

Test No.	Size of Chips (in.)	Chip Ratio (%)	Confining Pressure (psi)	Strain Levels (%)	a (psi)	$\tan \alpha$	$r^2$	c (psi)	$\phi$ (°)
TRC01	No-Chip	0	4.50	5	8.14	0.4299	0.9970	6.80	25.46
TRC02	No-Chip	0	14.50	10	9.28	0.4914	1.0000	10.66	29.43
TRC03	No-Chip	0	28.71	15	9.72	0.5099	0.9996	11.30	30.66
TRC04	1.00	16.27	4.64	20	9.58	0.5151	0.9996	11.18	30.00
TRC05	1.00	16.27	14.36	5	7.43	0.3873	0.9679	8.06	22.79
TRC06	1.00	16.27	28.71	10	6.21	0.5810	0.9982	7.63	35.52
TRC07	1.00	16.27	28.71	15	7.77	0.5686	0.9992	9.45	34.65
TRC08	1.00	30.18	4.50	20	5.71	0.6232	0.9992	7.30	38.55
TRC09	1.00	30.18	14.36	5	6.82	0.2612	0.9991	7.67	15.14
TRC10	1.00	30.18	14.36	10	9.36	0.3740	0.9997	10.74	21.96
TRC11	1.00	30.18	28.86	15	9.88	0.4748	0.9973	11.23	28.35
TRC12	1.00	40.05	4.64	20	8.82	0.5460	0.9971	10.53	33.09
TRC13	1.00	40.05	14.36	5	5.50	0.2205	0.9947	5.64	12.74
TRC14	1.00	40.05	14.36	10	7.85	0.3598	0.9990	8.20	21.09
TRC15	1.00	40.05	28.71	15	8.19	0.4543	0.9991	9.42	27.02
TRC16	1.00	48.49	4.64	20	8.44	0.5271	0.9999	9.33	31.81
TRC17	1.00	48.49	14.36	5	4.93	0.2025	0.9985	5.03	11.68
TRC18	1.00	48.49	14.36	10	6.69	0.3472	0.9999	7.13	20.32
TRC19	1.00	48.49	28.86	15	7.81	0.4441	0.9999	8.72	28.37
TRC20	0.50	39.80	4.64	20	7.92	0.5208	0.9999	9.28	31.39
TRC21	0.50	39.80	14.36	5	6.17	0.1173	0.9980	6.21	6.74
TRC22	0.50	39.80	14.36	10	9.37	0.2161	0.9875	9.60	12.60
TRC23	0.50	39.80	28.86	15	11.07	0.3130	0.9866	11.66	18.24



 D 6270 – 98 (2004)

**TABLE X1.8 Summary of Reported Hydraulic Conductivities of Tire Shreds**

Particle Size (mm)	Void Ratio	Dry Density (kg/m <sup>3</sup> )	Hydraulic Conductivity (cm/s)	Reference
25 to 64		469	5.3 to 23.5	(19)
25 to 64		608	2.9 to 10.9	
5 to 51		470	4.9 to 59.3	
5 to 51		610	3.8 to 22.0	
38	----	----	1.4 to 2.6	(28)
19	----	----	0.8 to 2.6	
10 to 51	0.925	644	7.7	(21, 22)
10 to 51	0.488	833	2.1	
20 to 76	1.114	601	15.4	
20 to 76	0.563	803	4.8	
10 to 38	0.833	622	6.9	
10 to 38	0.414	808	1.5	
10 to 38		553	0.58	(5)

**TABLE X1.9 Hydraulic Conductivities of Mixtures of Tire Shreds and Soil (5)**

Tire Shred Maximum Size (mm)	Soil Type	% Tire Shreds Based on Total Weight	Dry Density (kg/m <sup>3</sup> )	Hydraulic Conductivity (cm/s)
----	Ottawa Sand	0	1890	$1.6 \times 10^{-4}$
25	Ottawa Sand	15.5	1680	$1.8 \times 10^{-3}$
25	Ottawa Sand	30.1	1530	$3.5 \times 10^{-3}$
25	Ottawa Sand	37.7	1410	$6.7 \times 10^{-3}$
----	Crosby till	0	1910	$6.9 \times 10^{-7}$
25	Crosby till	14.8	1700	$1.8 \times 10^{-5}$
25	Crosby till	30.1	1390	$2.1 \times 10^{-3}$
25	Crosby till	40	1200	$6.8 \times 10^{-3}$
13	Crosby till	40	1190	$9.7 \times 10^{-3}$

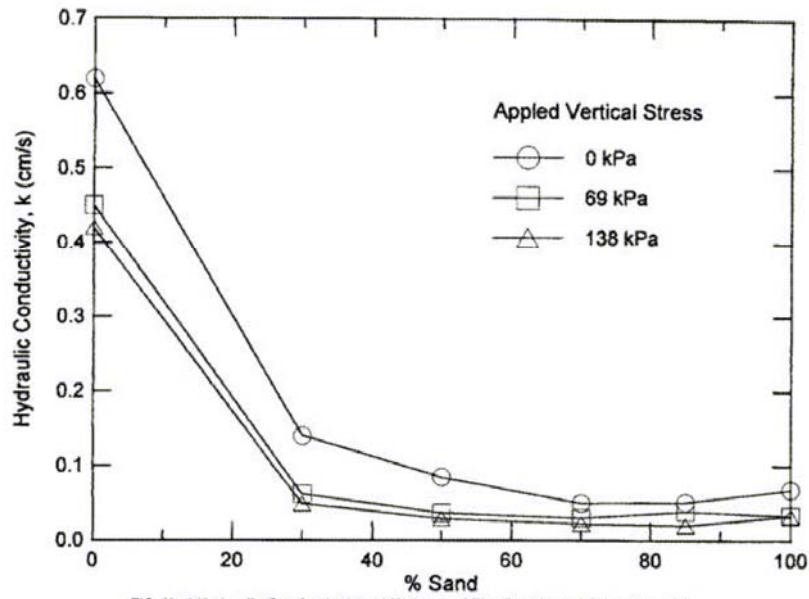


FIG. X1.4 Hydraulic Conductivities of Mixtures of Tire Shreds and Clean Sand (4)

TABLE X1.10 Summary of TCLP Results for Regulated Metals (12, 13, 14)

Concentration in Extract	Ag µg/L (ppb)	As µg/L (ppb)	Ba µg/L (ppb)	Cd µg/L (ppb)	Cr µg/L (ppb)	Hg µg/L (ppb)	Pb µg/L (ppb)	Se µg/L (ppb)
TCLP Regulatory Limit	5000	5000	100 000	1000	5000	200	5000	1000
Virginia DOT	NA <sup>a</sup>	NA	NA	1.55	2.8	NA	19.6	NA
Scrap Tire Management <sup>#</sup>	ND <sup>c</sup>	2	590	ND	48	0.4	16	ND
Maine	ND	ND	357	185	84	ND	216	ND

<sup>a</sup> NA = not available, that is not measured or not reported for that study.  
<sup>#</sup> Maximum value reported for the seven tire products that were tested.  
<sup>c</sup> ND = non-detect

TABLE X1.11 Summary of Results for Field Studies - Pollutants With Primary Drinking Water Standards (4, 14, 15, 16)

NOTE 1—NA = not available, not measured or not recorded for that study.  
NOTE 2—ND = Non-detect

Regulatory Limit	As µg/L 50 <sup>a</sup>	Ba µg/L 2000 <sup>b</sup>	Cd µg/L 5 <sup>b</sup>	Cr µg/L 100 <sup>b</sup>	Cu µg/L 1300 <sup>c</sup>	Hg µg/L 2 <sup>b</sup>	Ni µg/L 100 <sup>b</sup>	Pb µg/L 15 <sup>c</sup>	Se µg/L 50 <sup>b</sup>
Minnesota FL Groundwater	<100	1930	32	350	NA	<1	NA	230	<100
Minnesota PC Groundwater	<100	<10	<3	<10	NA	<1	NA	<20	<100
Wisconsin East Lysimeter Max Conc	NA	570	NA	NA	NA	NA	NA	22	NA
Wisconsin West Lysimeter Max Conc	NA	690	NA	NA	NA	NA	NA	5	NA
Tire Pond Surface Water Max Conc	NA	NA	<2	NA	<25	NA	<40	NA	NA
Richmond, Maine Field Trial Max Conc	NA	45	<5	NA	NA	NA	NA	<57	NA
North Yarmouth, Maine Field Trial Max Conc C	NA	225	<5	64	NA	NA	NA	<57	NA
North Yarmouth, Maine Field Trial Max Conc D	NA	113	<5	70	NA	NA	NA	<57	NA
TC Below GWT Field Trial Max Conc	<15	57	<5	7	19	NA	NA	<15	NA

<sup>a</sup> Federal Register, July 1, 1993; 40 CFR Ch. 1, Section 141.11 (29).

<sup>b</sup> Federal Register, July 1, 1993; 40 CFR Ch. 1, Section 141.62 (29).

<sup>c</sup> Federal Register, July 1, 1993; 40 CFR Ch. 1, Section 141.60 (29).

TABLE X1.12 Summary of Results for Field Studies - Metals With Secondary Drinking Water Standards and Other Parameters (4, 14, 15, 16)

NOTE 1—NA = not available, not measured or not recorded for that study.  
NOTE 2—ND = non-detect

Regulatory Limit	Al µg/L	Ca mg/L	Fe mg/L	Mg mg/L	Mn µg/L	Zn µg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L
Minnesota FL Groundwater	50-200 <sup>a</sup>	-	0.3 <sup>a</sup>	-	50 <sup>a</sup>	5000 <sup>a</sup>	250 <sup>a</sup>
Minnesota PC Groundwater	18000	1080	298	383	NA	870	NA
Wisconsin East Lysimeter Max Conc	1800	14.4	4.4	2.8	NA	<10	NA
Wisconsin West Lysimeter Max Conc	NA	340	5.3	390	NA	560	450
Tire Pond Surface Water Max Conc	NA	300	4	320	NA	750	150
Richmond, Maine Field Trial Max Conc	NA	NA	1.83	NA	NA	30	17
North Yarmouth, Maine Field Trial Max Conc C	170	105	<0.1	18	290	<100	65
North Yarmouth, Maine Field Trial Max Conc D	150	437	1.5	141	902	1100	58
TC Below GWT Field Trial Max Conc	<100	481	4.8	157	3200	13	25
	362	30	87	13	3430	123	22

<sup>a</sup> Viessman and Hammer (30).

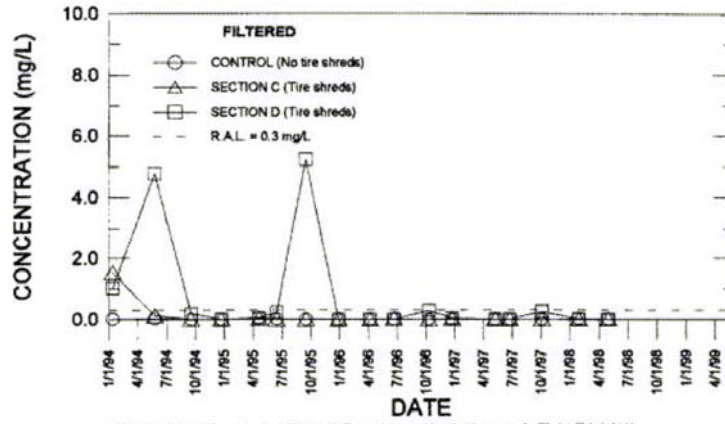


FIG. X1.5 Iron Levels for Filtered Samples at North Yarmouth Field Trial (16)

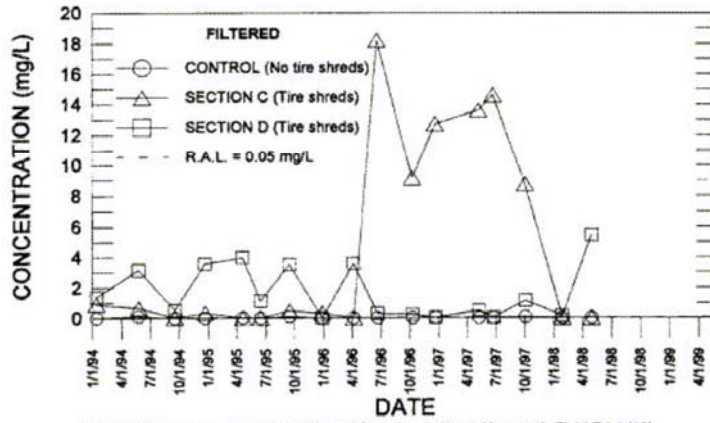



FIG. X1.6 Manganese Levels for Filtered Samples at North Yarmouth Field Trial (16)

 D 6270 – 98 (2004)

**MATERIAL SAFETY DATA SHEET**

Whole Scrap Tire

N/D = Not Determined  
(Unknown)

N/A = Not Applicable

SECTION I		IDENTIFICATION
<b>CHEMICAL NAME</b>	Rubber Compound (Mixture) containing natural and synthetic that is physically/chemically bound with carbon black, clay, titanium dioxide, zinc oxide, sulfur and petroleum hydrocarbons.	
<b>COMMON NAME</b>	Scrap Tire (Whole)	
<b>MANUFACTURERS</b>	<b>TRADE NAMES</b>	<b>EMERGENCY TELEPHONE NO.</b>
	Scrap Tire (Whole)	

SECTION II		HAZARDOUS INGREDIENTS			
CHEMICAL NAME	CAS NUMBER	%	HEALTH HAZARD	OSHA (PEL) ACGIH (TLV)	PHYSICAL HAZARD
Carbon Black	1333-86-4	16-36	Irritant	3.5 mg/m <sup>3</sup>	Non-hazardous
Clay	12141-46-7	<1.0	Irritant	N/D	Non-hazardous
Titanium dioxide	13463-67-7	<1.5	Irritant	10 mg/m <sup>3</sup>	Non-hazardous
Zinc oxide	1314-13-2	<2.0	Irritant	5.0 mg/m <sup>3</sup>	Non-hazardous
Sulfur	7704-34-9	<1.5	Irritant	N/D	Non-hazardous
Petroleum hydrocarbons	8002-29-7	5-13	Irritant Carcinogen	5.0 mg/m <sup>3</sup>	Non-hazardous

SECTION III		PHYSICAL DATA			
APPEARANCE	ODOR	MELT POINT	SPECIFIC GRAVITY	BOILING POINT	
Solid Black Rubber	Rubber	N/D	1.085-1.331	N/A	
BULK DENSITY	% VOLATILE BY VOLUME	VAPOR DENSITY (AIR=1)	VAPOR PRESS	% SOL. IN 28	
N/A	0	N/A	N/A	Insoluble	

**OTHER** N/D

FIG. X1.7 Material Safety Data Sheet for Whole Scrap Tires

**MATERIAL SAFETY DATA SHEET**

N/D = Not Determined  
(Unknown)

N/A = Not Applicable

SECTION IV		FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA	
FLASH POINT & METHOD	IGNITION TEMP	FLAMMABLE LIMITS	
N/D	N/D	LOWER N/D	UPPER N/D

**FIRE EXTINGUISHING AGENTS AND SPECIAL PROCEDURES**

Any of the following extinguishing agents may be used to combat any fires of this material: water (dispersed with fog nozzles), carbon dioxide, dry chemical, Halon or alcohol foam. Water, dispersed with fog nozzles, may be used to cool fire-exposed containers and to prevent pressure build-up.

Full protective clothing and MSHA/NIOSH (Mine Safety and Health Administration/National Institute for Occupational Safety and Health) approved, positive pressure, self-contained breathing apparatus should be used while firefighting. Thermal decomposition by-products may present a health hazard.

**UNUSUAL EXPLOSIVE HAZARDS** NONE

**PRODUCTS EVOLVED WHEN SUBJECTED TO HEAT OR COMBUSTION**

Potentially carcinogenic materials (including nitrosamines), carbon oxides (carbon monoxide and carbon dioxide), acid fumes, and flammable hydrocarbons may be liberated as a result of thermal decomposition or combustion. Avoid the smoke and fumes that result from thermal decomposition or combustion.

SECTION V			HEALTH EFFECTS - EFFECTS of Exposure
LD50 ORAL (INGESTION)	LD50 DERMAL (SKIN CONTACT)	LC50 (INHALATION)	
N/D	N/D	N/D	

**THRESHOLD LIMIT VALUE (TLV)** N/D  
**PRIMARY ROUTE OF EXPOSURE** skin (dermal) contact

**EFFECT OF ACUTE (SHORT TERM) EXPOSURE:**

No known health effects due to acute (short term) exposure.

**EFFECT OF CHRONIC (REPEATED) EXPOSURE:**

This material contains untreated naphthenic or aromatic extender oil. This oil could be released from the surface through skin contact. Prolonged contact with these oils has been shown to cause skin cancer in laboratory studies with animals. Untreated naphthenic and aromatic oils are classified as carcinogenic by IARC (International Agency for Research on Cancer). Prolonged or repeated contact may cause skin irritation or sensitization (allergic skin reaction).

**MEDICAL CONDITIONS AGGRAVATED BY EXPOSURE:** Skin Disorders

FIG. X1.7 Material Safety Data Sheet for Whole Scrap Tires (continued)

**MATERIAL SAFETY DATA SHEET**

Whole Scrap Tire

N/D = Not Determined  
(Unknown)

N/A = Not Applicable

**SECTION VI EMERGENCY AND FIRST AID PROCEDURES**

**EYES:** Not expected to be a problem.

**SKIN:** Wash thoroughly with soap and water. If reddening or irritation develops, obtain supportive medical attention.

**INGESTION:** Not expected to be a problem.

**INHALATION:** Not expected to be a problem.

**OTHER INSTRUCTIONS:**

Employees who have prolonged contact with material should practice good personal hygiene by frequent washing of hands and arms with soap and water. Remove contaminated clothing and launder before reuse. Shower at the end of each work day.

**SECTION VII CHEMICAL REACTIVITY**

**CONDITIONS CAUSING INSTABILITY** Stable under normal conditions.

**INCOMPATIBILITY (MATERIALS TO AVOID)** None.

**HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS**

Potentially carcinogenic materials (including nitrosamines), carbon oxides (carbon monoxide and carbon dioxide), acid fumes, and flammable hydrocarbons may be liberated as a result of thermal decomposition or combustion. Avoid the smoke and fumes that result from thermal decomposition or combustion.

**SECTION VIII SPILL, LEAK, AND DISPOSAL INFORMATION**

**STEPS TO BE TAKEN IN CASE MATERIAL IS SPILLED OR RELEASED**

**WASTE DISPOSAL:** Reclaim or recycle material if possible. Dispose of materials in accordance with applicable federal, state and local guidelines and regulations.

FIG. X1.7 Material Safety Data Sheet for Whole Scrap Tires (continued)



**MATERIAL SAFETY DATA SHEET**

Whole Scrap Tire

N/D = Not Determined  
(Unknown)

N/A = Not Applicable

**SECTION IX SPECIAL PROTECTION INFORMATION**  
All rubber products should be handled so as to prevent eye contact and excessive or repeated skin contact. Appropriate skin protection should be employed. Inhalation of dusts should be avoided

**EYES:** Not required for normal use.

**SKIN:** Use of protective gloves is recommended. Wash hands before eating, smoking or using the restroom.

**INHALATION:** Under normal conditions of use, respiratory protection should not be required.

**ADDITIONAL PERSONAL PROTECTION INFORMATION:**

Employees who have prolonged contact with material should practice good personal hygiene by frequent washing of hands and arms with soap and water. Remove contaminated clothing and laundry before reuse. Shower at the end of each work day.

**SECTION X STORAGE INFORMATION**

**PRECAUTIONS TO BE TAKEN IN HANDLING AND STORAGE**

Store indoors in a cool, dry, well ventilated area under ambient conditions. (Temperatures: 32-100°F 0°-38°C). Do not store in direct sunlight. Store and dispose of material in accordance with applicable federal, state and local guidelines and regulations.

**SECTION XI ADDITIONAL COMMENTS**

Components of this product are included in the EPA Toxic Substances Control Act (TCSA) Chemical Substances Inventory.

**FOR ADDITIONAL INFORMATION**

NAME	COMPANY	TELEPHONE
------	---------	-----------

FIG. X1.7 Material Safety Data Sheet for Whole Scrap Tires (continued)

**References**

- (1) Humphrey, D.N., "Investigation of Exothermic Reaction in Tire Shred Fill Located on SR 100 in Ilwaco, Washington," *Report to the Federal Highway Administration*, Washington, DC, March, 1996.
- (2) Ad Hoc Civil Engineering Committee, "Design Guidelines to Minimize Internal Heating of Tire Shred Fills," *Scrap Tire Management Council*, Washington, DC, 1997.
- (3) Humphrey, D.N., and Manion, W.P., "Properties of Tire Chips for Lightweight Fill," *Grouting, Soil Improvement, and Geosynthetics*, ASCE, Vol 2, 1992, pp. 1344-1355.
- (4) Edil, T.B., and Bosscher, P.J., "Development of Engineering Criteria for Shredded or Whole Tires in Highway Applications," *Report No. WI 14-92*, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Wisconsin, Madison, WI, November, 1992.
- (5) Ahmed, I., "Laboratory Study on Properties of Rubber Soils," *Report No. FHWA/NJHRP-93/4*, Purdue University, West Lafayette, IN, 1993.
- (6) Ahmed, I., and Lovell, C.W., "Rubber Soils as Lightweight Geomaterial," *Transportation Research Record*, No. 1422, 1993, pp. 61-70.
- (7) Tweedie, J., Humphrey, D.N., and Sanford, T.C., "Tire Chips as Lightweight Backfill for Retaining Walls-Phase II, Field Trial," *A Study for the New England Transportation Consortium*, Department of Civil Engineering, University of Maine, Orono, ME, 1997.
- (8) Nickels, W.L., Jr., and Humphrey, D.N., "The Effect of Tire Chips as Subgrade Fill on Paved Roads," Technical Services Division, Maine



Apéndice 2  
Exclusión Categórica del Proyecto



3 de agosto de 2000

Lic Héctor M. Russe Martínez  
Presidente  
Junta de Calidad Ambiental  
Apartado 11488  
San Juan, PR 00910

EXCAT 01-0160 (ACT)

p. 93  
D

MEJORAS A TALUDES PR-52  
DESDE KM 61.9 HATA INTERSECCIÓN  
PR-52/PR-53, MUNICIPIO DE SALINAS  
AC-520050 (P000052250)

Estimado señor Russe Martínez:

El Departamento de Transportación y Obras Públicas (DTOP), a través de su Autoridad de Carreteras y Transportación (ACT), contempla realizar mejoras a los taludes de la carretera estatal PR-52, desde el kilómetro 61.90 hasta su intersección con la carretera estatal PR-53, en el Municipio de Salinas. Ver figura 1, Mapa de Localización.

La acción propuesta consiste en reducir la inclinación de los taludes, en ocho (8) tramos de la carretera, prolongar varias estructuras de drenaje, remover e instalar barandas "guardrails", barreras de hormigón y otros trabajos misceláneos. Para la reducción de la inclinación de los taludes se utilizará una mezcla en igual proporción de 25,700 metros cúbicos de material clasificado "borrow C" y virutas de neumáticos "tire chips". El proyecto tendrá una longitud aproximada de 9.0 kilómetros. Ver figura 2, Sección Típica.

Los trabajos propuestos mejorarán significativamente la geometría de la carretera proveyendo una mayor seguridad y capacidad de maniobra a los usuarios. Durante la construcción se tomarán las medidas necesarias para afectar lo menos posible el tránsito vehicular a lo largo de la misma.

El proyecto propuesto se realizará dentro del derecho de vía de la carretera. El mismo será financiado con fondos de la Autoridad, y tendrá un costo estimado de \$494,000.00.

Antes de comenzar los trabajos de construcción, la Autoridad le requerirá al contratista la preparación e implantación de un Plan de Control de Erosión y Sedimentación (CES) específico para este proyecto, de acuerdo a los requerimientos del Reglamento

JUNTA DE CALIDAD AMBIENTAL  
AUG 07 2000  
4894  
OFICINA DEL PRESIDENTE

Lic. Héctor M. Russe Martínez  
Mejoras a taludes en PR-52  
Municipio de Salinas AC-520050  
Página 2

para el Control de la Erosión y Prevención de la Sedimentación. Los materiales removidos se llevarán a un lugar previamente aprobado, cumpliendo con las disposiciones del Permiso para la generación de Desperdicios Sólidos (DS-3) y otros reglamentos aplicables.

El contratista será responsable de tramitar el permiso de Remoción para la Extracción de la Corteza Terrestre del DRNA, y un permiso para la Operación de una Fuente de Emisión Atmosférica de éstos ser requeridos. El administrador del proyecto en construcción, por parte de la Autoridad, será responsable de velar por la implantación efectiva de las condiciones de estos permisos.

Luego de evaluar el área del proyecto propuesto y los posible impactos derivados de dicha acción, hemos encontrado que el mismo no tendrá un impacto ambiental significativo, ya que no se afectarán familias, recursos naturales ni áreas de importancia ecológica, cultural, social o arqueológica. Por tales motivos, no requiero la preparación de una Declaración de Impacto Ambiental o Evaluación Ambiental.

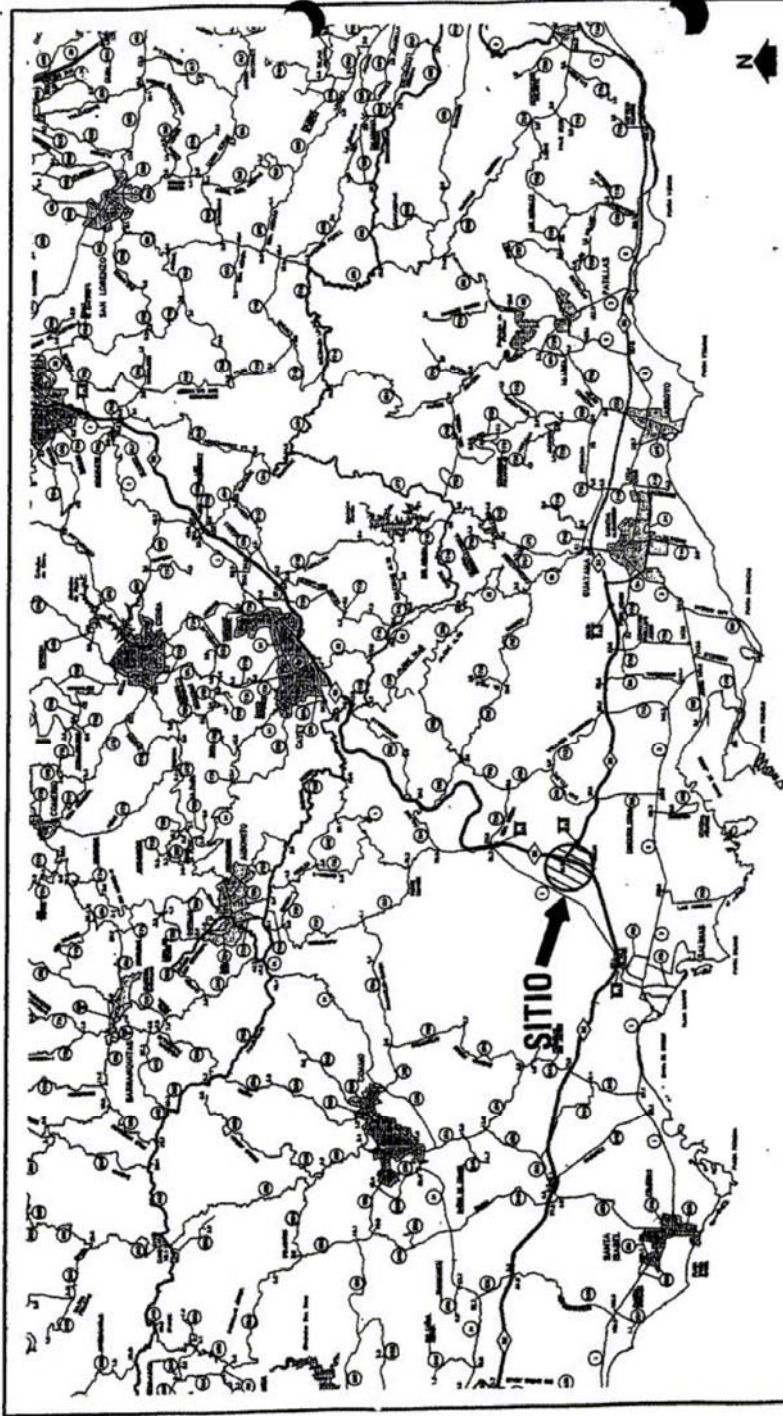
La acción propuesta clasifica como una Exclusión Categórica de acuerdo al inciso 11 de la lista de Exclusiones Categóricas del Departamento de Transportación y Obras Públicas (DTOP) aprobadas por su Agencia.

Cordialmente,

  
Maritza Borges  
Directora  
Area de Planificación

6704/IMG/GFF/btc

Anexos



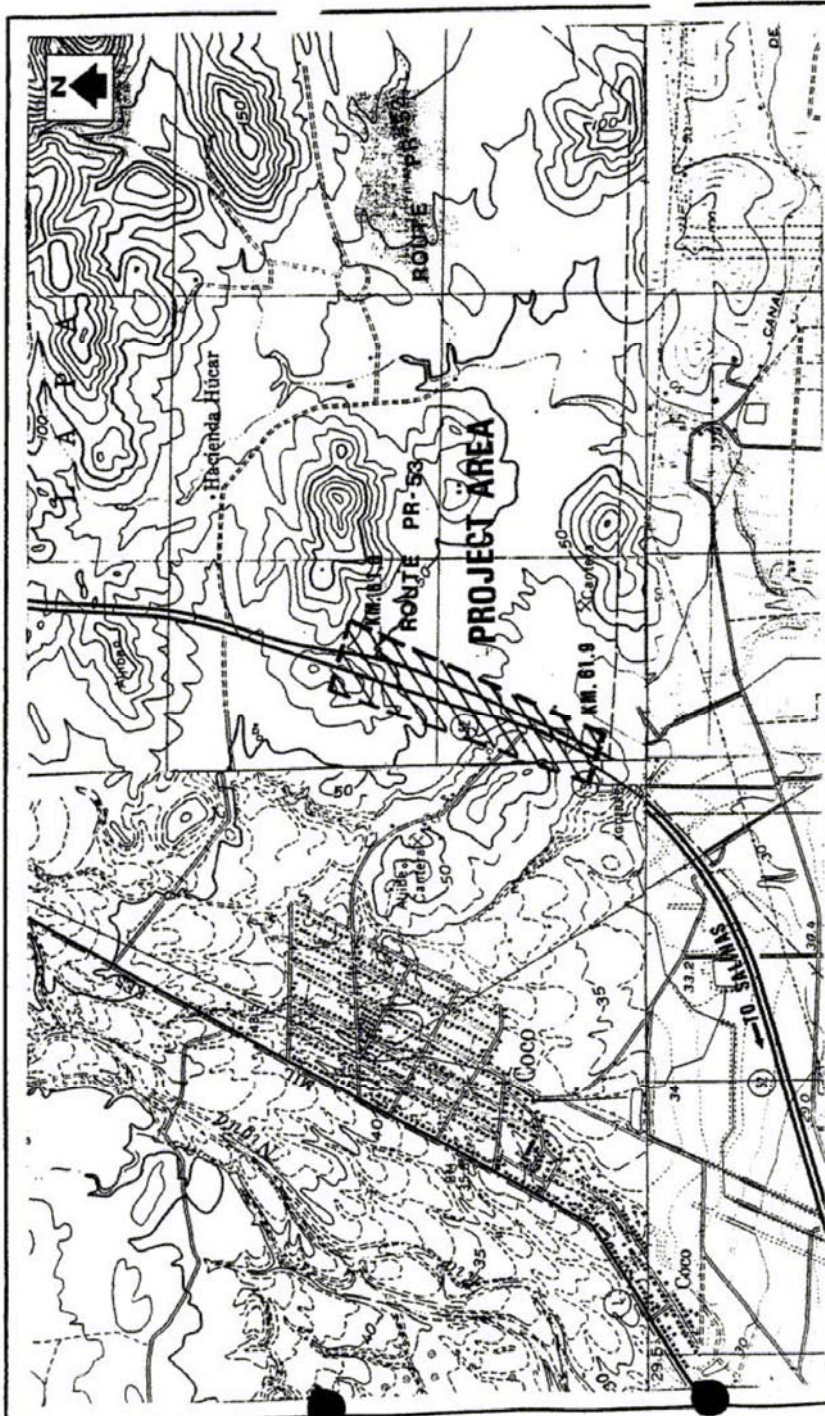
**CONSTRUCTION OF TIRE CHIPS EMBANKMENT**

KM. 61.90 AND THE INTERSECTION PR-52 AND PR-53  
MUNICIPALITY SALINAS

**LOCATION MAP**

FIGURE 1





**CONSTRUCTION OF TIRE CHIPS EMBANKMENT**

KM. 61.90 AND THE INTERSECTION PR-52 AND PR-53  
MUNICIPALITY SALINAS

**LOCATION MAP**

FIGURE 1

### Apéndice 3

#### Resultados Analíticos de Muestras de Suelo y Caucho Triturado

February 18, 2008

R<sup>4</sup> Enterprises Corporation  
GARDEN HILLS PLAZA MSC #309 1353  
RD #19  
GUAYNABO PUERTO RICO 00966-2700

**ANALYSIS REPORT**

**Sample Identification**

Project: TESIS UMET - SALINAS PROJECT  
Identified as "Back ground"  
February 11, 2008  
Custody Number 37335  
Lab Sample No. 08-1106

**CONCENTRATION OF CONTAMINANTS  
FOR TOXICITY CHARACTERISTICS OF TCLP**

EPA HAZARDOUS Waste Number	Contaminant	Results (ppm)	Detection Limit (ppm)	Regulatory Level
<b>Metals SW6000/7000</b>				
D004	Arsenic	<0.05	0.05	5.0
D005	Barium	0.46	0.05	100.0
D006	Cadmium	<0.05	0.05	1.0
D007	Chromium	<0.05	0.05	5.0
D008	Lead	<0.05	0.05	5.0
D009	Mercury	<0.0009	0.0009	0.2
D010	Selenium	<0.05	0.05	1.0
D011	Silver	<0.05	0.05	5.0

*Maria del C. Pagán*  
Maria del C Pagán - Lic 1752





February 18, 2008

R<sup>1</sup> Enterprises Corporation  
GARDEN HILLS PLAZA MSC #309 1353  
RD #19  
GUAYNABO PUERTO RICO 00966-2700

**ANALYSIS REPORT**

**Sample Identification**

Project: TESIS UMET - SALINAS PROJECT  
Identified as "Soil Sample # 1"  
February 11, 2008  
Custody Number 37335  
Lab Sample No. 08-1107

**CONCENTRATION OF CONTAMINANTS  
FOR TOXICITY CHARACTERISTICS OF TCLP**

EPA HAZARDOUS Waste Number	Contaminant	Results (ppm)	Detection Limit (ppm)	Regulatory Level
<b>Metals SW6000/7000</b>				
D004	Arsenic	<0.05	0.05	5.0
D005	Barium	0.66	0.05	100.0
D006	Cadmium	<0.05	0.05	1.0
D007	Chromium	<0.05	0.05	5.0
D008	Lead	<0.05	0.05	5.0
D009	Mercury	<0.0009	0.0009	0.2
D010	Selenium	<0.05	0.05	1.0
D011	Silver	<0.05	0.05	5.0

*Maria del C. Pagán*  
Maria del C Pagán - Lic 17520





February 18, 2008

R<sup>4</sup> Enterprises Corporation  
GARDEN HILLS PLAZA MSC #309 1353  
RD #19  
GUAYNABO PUERTO RICO 00966-2700

**ANALYSIS REPORT**

**Sample Identification**

Project: TESIS UMET - SALINAS PROJECT  
Identified as "Soil Sample # 2"  
February 11, 2008  
Custody Number 37335  
Lab Sample No. 08-1108

**CONCENTRATION OF CONTAMINANTS  
FOR TOXICITY CHARACTERISTICS OF TCLP**

EPA HAZARDOUS Waste Number	Contaminant	Results (ppm)	Detection Limit (ppm)	Regulatory Level
<b>Metals SW6000/7000</b>				
D004	Arsenic	<0.05	0.05	5.0
D005	Barium	1.68	0.05	100.0
D006	Cadmium	<0.05	0.05	1.0
D007	Chromium	<0.05	0.05	5.0
D008	Lead	<0.05	0.05	5.0
D009	Mercury	<0.0009	0.0009	0.2
D010	Selenium	<0.05	0.05	1.0
D011	Silver	<0.05	0.05	5.0

*María del C. Pagán*  
María del C Pagán - Lic 1752



February 18, 2008

R<sup>4</sup> Enterprises Corporation  
 GARDEN HILLS PLAZA MSC #309 1353  
 RD #19  
 GUAYNABO PUERTO RICO 00966-2700

**ANALYSIS REPORT**

**Sample Identification**

Project: TESIS UMET - SALINAS PROJECT  
 Identified as "Soil Sample # 3"  
 February 11, 2008  
 Custody Number 37335  
 Lab Sample No. 08-1109

**CONCENTRATION OF CONTAMINANTS  
 FOR TOXICITY CHARACTERISTICS OF TCLP**

EPA HAZARDOUS Waste Number	Contaminant	Results (ppm)	Detection Limit (ppm)	Regulatory Level
<b>Metals SW6000/7000</b>				
D004	Arsenic	<0.05	0.05	5.0
D005	Barium	2.05	0.05	100.0
D006	Cadmium	<0.05	0.05	1.0
D007	Chromium	<0.05	0.05	5.0
D008	Lead	<0.05	0.05	5.0
D009	Mercury	<0.0009	0.0009	0.2
D010	Selenium	<0.05	0.05	1.0
D011	Silver	<0.05	0.05	5.0

*María del C. Pagán*  
 María del C Pagán - Lic 17332



February 18, 2008

R<sup>4</sup> Enterprises Corporation  
GARDEN HILLS PLAZA MSC #309 1353  
RD #19  
GUAYNABO PUERTO RICO 00966-2700

**ANALYSIS REPORT**

**Sample Identification**

Project: TESIS UMET - SALINAS PROJECT  
Identified as "TC-01"  
February 11, 2008  
Custody Number 37335  
Lab Sample No. 08-1110

**CONCENTRATION OF CONTAMINANTS  
FOR TOXICITY CHARACTERISTICS OF TCLP**

EPA HAZARDOUS Waste Number	Contaminant	Results (ppm)	Detection Limit (ppm)	Regulatory Level
<b>Metals SW6000/7000</b>				
D004	Arsenic	<0.05	0.05	5.0
D005	Barium	0.09	0.05	100.0
D006	Cadmium	<0.05	0.05	1.0
D007	Chromium	<0.05	0.05	5.0
D008	Lead	<0.05	0.05	5.0
D009	Mercury	<0.0009	0.0009	0.2
D010	Selenium	<0.05	0.05	1.0
D011	Silver	<0.05	0.05	5.0

  
 María del C Pagán - Lic 1752
 




February 18, 2008

R<sup>1</sup> Enterprises Corporation  
GARDEN HILLS PLAZA MSC #309 1353  
RD #19  
GUAYNABO PUERTO RICO 00966-2700

**ANALYSIS REPORT**

**Sample Identification**

Project: TESIS UMET - SALINAS PROJECT  
Identified as "TC-02"  
February 11, 2008  
Custody Number 37335  
Lab Sample No. 08-1111

**CONCENTRATION OF CONTAMINANTS  
FOR TOXICITY CHARACTERISTICS OF TCLP**

EPA HAZARDOUS Waste Number	Contaminant	Results (ppm)	Detection Limit (ppm)	Regulatory Level
<b>Metals SW6000/7000</b>				
D004	Arsenic	<0.05	0.05	5.0
D005	Barium	0.08	0.05	100.0
D006	Cadmium	<0.05	0.05	1.0
D007	Chromium	<0.05	0.05	5.0
D008	Lead	<0.05	0.05	5.0
D009	Mercury	<0.0009	0.0009	0.2
D010	Selenium	<0.05	0.05	1.0
D011	Silver	<0.05	0.05	5.0

*Maria del C. Pagán*  
Maria del C Pagán - Lic 1752



QA REPORT FOR: R-4 ENTERPRISES CORPORATION  
 QA REPORT FOR SAMPLES: 08-1106 through 08-1111

BATCH #1: 02-13-2008

BATCH #1: 02-13-2008

PARAMETER: ARSENIC	
ANALYSIS DATE: 02-13-08	
ANALYST ID: MRV	
PRECISION	
Sample Identification: 08-1107 SPIKE	ACCURACY
Sample Result, mg/L	Sample Result, mg/L
1.083	<0.050
Sample Duplicate Result, mg/L	Sample + Spike mg/L
1.045	1.083
Relative Percent Difference, %	Spike Added, mg/L
3.6	1.000
	% Recovery
	108

PARAMETER: BARIUM	
ANALYSIS DATE: 02-13-08	
ANALYST ID: MRV	
PRECISION	
Sample Identification: 08-1107 SPIKE	ACCURACY
Sample Result, mg/L	Sample Result, mg/L
1.668	0.666
Sample Duplicate Result, mg/L	Sample + Spike mg/L
1.615	1.668
Relative Percent Difference, %	Spike Added, mg/L
3.2	1.000
	% Recovery
	100

BATCH #1: 02-13-2008

BATCH #1: 02-13-2008

PARAMETER: CADMIUM	
ANALYSIS DATE: 02-13-08	
ANALYST ID: MRV	
PRECISION	
Sample Identification: 08-1107 SPIKE	ACCURACY
Sample Result, mg/L	Sample Result, mg/L
1.030	<0.050
Sample Duplicate Result, mg/L	Sample + Spike mg/L
0.995	1.030
Relative Percent Difference, %	Spike Added, mg/L
3.5	1.000
	% Recovery
	103

PARAMETER: CHROMIUM	
ANALYSIS DATE: 02-13-08	
ANALYST ID: MRV	
PRECISION	
Sample Identification: 08-1107 SPIKE	ACCURACY
Sample Result, mg/L	Sample Result, mg/L
1.085	<0.050
Sample Duplicate Result, mg/L	Sample + Spike mg/L
1.047	1.047
Relative Percent Difference, %	Spike Added, mg/L
3.6	1.000
	% Recovery
	105

SABANETAS INDUSTRIAL PARK - PONCE • P.O. BOX 359 • MERCEDITA, PR 00715  
 TELS. (787) 848-6050 • (787) 848-6085 • (787) 848-6265 • FAX (787) 848-6299

**QA REPORT FOR: R-4 ENTERPRISES CORPORATION**  
**QA REPORT FOR SAMPLES: 08-1106 through 08-1111**

**BATCH #1: 02-15-2008**

**BATCH #1: 02-13-2008**

<b>PARAMETER: LEAD</b>	
<b>ANALYSIS DATE: 02-15-08</b>	
<b>ANALYST ID: MRV</b>	
<b>PRECISION</b>	
<b>Sample Identification: 08-1107 SPIKE</b>	<b>ACCURACY</b>
Sample Result, mg/L	Sample Result, mg/L
Sample Duplicate Result, mg/L	Sample + Spike mg/L
Relative Percent Difference, %	Spike Added, mg/L
	% Recovery

<b>PARAMETER: MERCURY</b>	
<b>ANALYSIS DATE: 02-13-08</b>	
<b>ANALYST ID: MRV</b>	
<b>PRECISION</b>	
<b>Sample Identification: 08-1110 SPIKE</b>	<b>Sample Identification: 08-1110</b>
Sample Result, mg/L	Sample Result, mg/L
Sample Duplicate Result, mg/L	Sample + Spike mg/L
Relative Percent Difference, %	Spike Added, mg/L
	% Recovery

**BATCH #1: 02-15-2008**

**BATCH #1: 02-15-2008**

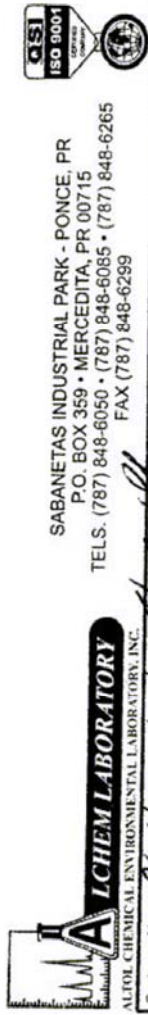
<b>PARAMETER: SELENIUM</b>	
<b>ANALYSIS DATE: 02-15-08</b>	
<b>ANALYST ID: MRV</b>	
<b>PRECISION</b>	
<b>Sample Identification: 08-1107 SPIKE</b>	<b>ACCURACY</b>
Sample Result, mg/L	Sample Result, mg/L
Sample Duplicate Result, mg/L	Sample + Spike mg/L
Relative Percent Difference, %	Spike Added, mg/L
	% Recovery

<b>PARAMETER: SILVER</b>	
<b>ANALYSIS DATE: 02-15-08</b>	
<b>ANALYST ID: MRV</b>	
<b>PRECISION</b>	
<b>Sample Identification: 08-1107 SPIKE</b>	<b>ACCURACY</b>
Sample Result, mg/L	Sample Result, mg/L
Sample Duplicate Result, mg/L	Sample + Spike mg/L
Relative Percent Difference, %	Spike Added, mg/L
	% Recovery

SABANETAS INDUSTRIAL PARK - PONCE • P.O. BOX 359 • MERCEDITA, PR 00715  
 TELS. (787) 848-6050 • (787) 848-6085 • (787) 848-6265 • FAX (787) 848-6299

Apéndice 4  
Cadena de Custodia





SABANETAS INDUSTRIAL PARK - PONCE, PR  
 P.O. BOX 359 • MERCEDITA, PR 00715  
 TELS. (787) 848-6050 • (787) 848-6085 • (787) 848-6265  
 FAX (787) 848-6299

CUSTOMY # 37055

Customer Name: ALCHEM LABORATORY Customer Sample # ALC-001

Project: TESIS - UMET Solubility

Sample Type (No. of Cont.): Grab X Composite \_\_\_\_\_ Turn Around Time \_\_\_\_\_  
 Containers: Liquid X Solid \_\_\_\_\_ Oil \_\_\_\_\_  
 Preservative: (A) Ice \_\_\_\_\_ (D) Na OH \_\_\_\_\_ (G) Ascorbic Acid \_\_\_\_\_ (J) Other \_\_\_\_\_  
 (B) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> \_\_\_\_\_ (E) HCL \_\_\_\_\_ (H) Zinc Acetate \_\_\_\_\_  
 (C) HNO<sub>3</sub> \_\_\_\_\_ (F) Sodium Thiosulfate \_\_\_\_\_ (I) FAS \_\_\_\_\_

Lab. Sample No.	Date	Time	Sample Description
23-110	02/11/08	6:30 AM	Box 600000
23-110	02/11/08	6:45 AM	Soil Sample #1
23-110	02/11/08	7:00 AM	Soil Sample #2
23-110	02/11/08	7:15 AM	Soil Sample #3
23-110	02/11/08	9:00 AM	TC-01
23-110	02/11/08	9:15 AM	TC-02 ✓

Comments: QA/QC Batch

Sample collected by: <u>J.H. [Signature]</u>	Relinquished by:	Date:	Time:
Received by: <u>J.H. [Signature]</u>	Received by:	Date:	Time:
Delivery To Lab. by: <u>J.H. [Signature]</u>	Received at Lab. by: <u>S. [Signature]</u>	Date:	Time:
		02/11/08	12:45

PROCEDURE NO: ALGAP008 All Analyses will be performed following EPA approved methods unless otherwise specified by the client. Page 9 of 13



Apéndice 5  
Fotos del Área del Proyecto



Foto 1: Área del proyecto de sur a norte.



Foto 2: Foto del proyecto de oeste a este.



Foto 3: Foto del proyecto de norte a sur.





Foto 4: Foto del la sección del proyecto con menos elevación, parte por donde discurren las aguas de escorrentías.



Foto 5: Foto de la sección del proyecto por donde discurren las aguas de escorrentía hasta llegar al sistema pluvial de la autopista.

## Apéndice 6

### Fotos de Actividades de Muestreo



Foto 1: Botellas identificadas para las actividades de muestro.





Foto 2: Localización de la muestra de trasfondo. Sección mas alta del proyecto



Foto 3: Foto de las muestras obtenidas de caucho triturado en las instalaciones de la Integrate Waste Management, Inc. en Peñuelas.