Educación Continua y Los Planes de Estudio de la Universidad Goma Concreto Asfáltico E Ingeniería Civil Aplicación de las Llantas de Desecho

California Departamento de Recursos de Reciclaje y Recuperación

Mayo 2009

Informe del Contratista
Producido por Contrato:
California Centro de Conservación de Pavimentos
La Universidad Estatal de California de Chico

EL ESTADO DE CALIFORNIA

Edmund G Brown Jr.
Gobernador

John Laird
Secretario de la Agencia de Recursos Naturales de California

DEPARTMENTO DE RECURSOS DE RECICLAJE Y RECUPERACIÓN

Caroll Mortensen
Directora

Departamento de Recursos de Reciclaje y Recuperación
Oficina de Relaciones Públicas
1001 I Street (MS 22-B)
P.O. caja de 4025
Sacramento, CA 95812-4025
www.calrecycle.ca.gov/Publications/
1-800-RECYCLE (California solamente) o (916) 341-6300

Publicación # DRRR-2011-043

Para ahorrar recursos y reducir los residuos, informes al CalRecycle se producen únicamente en formato electrónico. Si la impresión de copias de este documento, por favor considere el uso de papel reciclado con un 100 por ciento de fibra postconsumo y, cuando sea posible, por favor, imprimir las imágenes en ambos lados del papel.

Derechos del autor 2011 por el Departamento de Recursos de Reciclaje y Recuperación (CalRecycle).
Derechos reservados. Esta publicación, o partes de los mismos,
no pueden ser reproducidas en ninguna forma sin permiso.

Preparado como parte del número de contrato IWM06006 por $ 350,000, incluyendo otros servicios.

El Departamento de Recursos de Reciclaje y Recuperación (CalRecycle) no discrimina por motivos de discapacidad en el acceso a sus programas. CalRecycle publicaciones están disponibles en formatos accesibles a petición llamando, a la Oficina de Asuntos Públicos al (916) 341-6300.
Las personas con impedimentos auditivos pueden llegar a CalRecycle a través del Servicio de Retransmisión de California al 1-800-735-2929.

Aviso: Este informe se elaboró bajo contrato por parte del Centro de Conservación de Pavimentos de California en La Universidad Estatal de California de Chico. Las declaraciones y conclusiones en este informe son las del contratista y no necesariamente del Departamento de Recursos de Reciclaje y Recuperación (CalRecycle), sus empleados, o el Estado de California y no deben de ser citado o citados como política oficial del Departamento o la dirección .

El estado no hace ninguna garantía, expresa o implícita, ni se hacen responsable por la información contenida en el texto siguiente. Cualquier mención de productos o procesos comerciales no se deben interpretar como una aprobación de dichos productos o procesos.

NOTA: La legislación (SB 63, Strickland, Capítulo 21, Estatutos de 2009) promulgada por el gobernador Arnold Schwarzenegger eliminó la California Integrated Waste Management Board (CIWMB) y sus seis miembros de la junta de gobierno efectiva 31 de diciembre del 2009.

CIWMB programas y responsabilidades de supervisión fueron retenidos y reorganizado efectiva 1 de enero del 2010, y se fusionó con el programa de reciclaje de envases de bebidas antes gestionadas por el Departamento de Conservación de California.

La nueva entidad se conocen como el Departamento de Recursos de Reciclaje y Recuperación (CalRecycle) y forma parte de la Agencia de Recursos Naturales de California. Que ya no forma parte de la Agencia de Protección Ambiental de California (Cal/EPA).

CalRecycle otorga ninguna garantía, expresa o implícita, y no asume ninguna responsabilidad por la exactitud de la traducción de este material o de la información contenida en esta traducción. Esta traducción se proporciona para su conveniencia para el público y para el propósito informativo solamente.

Una versión en completa de este documento es accesible para ayudar a los usuarios de la web con discapacidad visual se proporcionan bajo petición. Por favor, póngase en contacto con la Oficina de Asuntos Públicos CalRecycle por correo electrónico a opa@calrecycle.ca.gov o llame al (916) 341-6300.

PÁGINA RESUMEN DEL PROYECTO	Informe Técnico: 2009 – 101
Título: Formación Continua y Programa Universitario Sobre Aplicaciones RAC y CE de Neumáticos de Desechos	
Autores: Ding Cheng, R. Gary Hicks y Joel Arthur	
Preparado Por: Consejo de Gestión de Residuos California Integrated Waste Management Board (CIWMB, por sus Siglas en Inglés)	**Número de Referencia del Cliente:**
Preparado por: CP2 Center	**Fecha:** 15-5-2009

Resumen: California genera alrededor de 40 millones de neumáticos de desecho al año. Los neumáticos de desecho pueden provocar importantes problemas de salud pública, de seguridad y medioambientales. Gracias a los esfuerzos de investigación y de marketing, el CIWMB ha logrado aumentar el uso de neumáticos de desecho en el hormigón asfáltico engomado y otras aplicaciones de ingeniería civil. Hay formas fantásticas de convertir un material de desecho en un producto valioso. Sin embargo, el uso exitoso de los neumáticos de desecho en aplicaciones RAC y de ingeniería civil no se logra fácilmente. Solo ingenieros capacitados y con experiencia pueden garantizar el uso adecuado de estos productos para este tipo de aplicaciones. Para fomentar la sostenibilidad y el uso apropiado de los neumáticos de desecho en las aplicaciones mencionadas, el CIWMB financió esta investigación con el objetivo de educar a profesionales y estudiantes universitarios.

Los materiales didácticos fueron desarrollados para educar a los estudiantes universitarios que se convertirán en los futuros ingenieros y tomadores de decisiones. Como parte de este proyecto, se han desarrollado una serie de materiales sobre el tema para once cursos diferentes. Estos módulos de disertación cubren temas para clases de niveles primarios niveles superiores. Cada disertación se ha presentado en un ambiente de clase real en la CSU de Chico. Las disertaciones aumentaron mucho el conocimiento de los estudiantes sobre el uso de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil e ingeniería del transporte.

Se realizaron talleres de formación para profesores en tres centros distintos: Sacramento, Pomona y San Luis Obispo. Alrededor de 40 profesores de 16 universidades distintas asistieron a dichos talleres. Estas universidades incluyeron representantes del sistema UC, del sistema de la *universidad estatal de California*, de universidades privadas y de universidades técnicas. Los materiales didácticos y otra información útil del proyecto están resumidos en el siguiente sitio Web: http://www.ecst.csuchico.edu/cp2c/ciwmb/education/.

También se impartieron presentaciones prácticas para profesionales en conferencias o talleres, entre los que se incluyen una reunión del Transportation Research Board (TRB), la California Asphalt Paving Association (CalAPA), la reunión de la California Maintenance Superintendent Association (MSA), la división del norte de California de la APWA, la American Society for Engineering Educators y la Cuarta Conferencia sobre Asfalto Modificado con Caucho. Estas presentaciones fueron bien recibidas y resultaron útiles para estimular el interés en usar neumáticos reciclados en una variedad de aplicaciones.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a CIWMB por aportar financiación para este importante y significativo proyecto. También deseamos extender nuestra gratitud a Albert Johnson, Bob Fujii, Nate Gauff y Stacey Patenaude, quienes entregaron su apoyo permanente a este proyecto.

EXENCIÓN DE RESPONSABILIDAD

Los contenidos de este informe reflejan las opiniones de los autores que son responsables de los hechos y exactitud de los datos aquí contenidos. El contenido no refleja necesariamente la visión o política oficial del California Integrated Waste Management Board (CIWMB) o del Estado de California

TABLA DE CONTENIDOS

1.0 Introducción 1

1.1 Trasfondo 1

1.2 Objetivos 2

2.0 Revisión Bibliográfica 3

2.1 Hormigón Asfáltico Engomado (RAC) 4

2.2 Aplicaciones en Ingeniería Civil (CE) de Neumáticos de Desecho 5

3.0 Formación Continua de Profesionales 5

3.1 Desarrollo de presentaciones 5

3.2. Logros en la Formación Continua 6

4.0 Elaboración de Materiales de Clase para Programas Universitarios 7

4.1 Trasfondo 7

4.2 Resumen de los Módulos Didácticos 8

4.2.1 Introducción al Diseño de Ingeniería Civil 9

4.2.2 Resistencia de Materiales 10

4.2.3 Pruebas Estructurales de Laboratorio – Resistencia al Corte 11

4.2.4 Convenios y Especificaciones 11

4.2.5 Mecánica del Suelos 12

4.2.6 Materiales de Hormigón 14

4.2.7 Ingeniería Básica 15

4.2.8 Ingeniería Medioambiental 17

4.2.9 Ingeniería de Transporte 18

4.2.10 Materiales para Pavimentación con Asfalto 18

4.2.11 Gestión de Residuos Sólidos 19

4.3 Opinión de los Estudiantes 20

4.4 Reconocimiento del Estudiante por el Consejo 22

5.0 Difusión de Conocimientos a Universidades y Universidades Técnicas en California. 22

6.0 Conclusiones y Recomendaciones 27

7.0 Referencias 29

Anexos 32

A Presentación de Muestra para Profesionales 32

B Presentaciones de Disertación del Programa Universitario 33

C Programa Universitario Disertaciones por Capítulo 34

D Presentación en la 4ª Conferencia de Hormigón Asfáltico Modificado con Caucho 35

E Formulario de Evaluación del Taller de Muestra 36

LISTA DE ILUSTRACIONES

FIGURA 1. Guía para la Enseñanza de Aplicaciones de Neumáticos de Desecho en el Programa de Ingeniería Civil 8
FIGURA 2. Incendio de Neumáticos en Westley, California en Septiembre de 1999 10
FIGURA 3. Reducción de la Vibración Relativa para el Tren Ligero VTA Usando TDA 11
FIGURA 4. El Relleno Para Cementación del Intercambiador de Dixon Landing, con TDA Compactado 13
FIGURA 5. Sección de Pendiente Dañada en Marina Drive, Ukiah, CA 14
FIGURA 6. Prueba de Pared de Retención a Escala Completa Usando TDA Como Relleno 16
FIGURA 7. TDA Como Relleno para Muro de Contención 119 en Riverside, California 17
FIGURA 8. Comparación de RHMA-O de Drenaje Libre Versus DGAC 19
FIGURA 9. Resultado del Análisis de Estabilidad de Pendiente Usando el Método de Bishop Simplificado 21
FIGURA 10. Miembros del Consejo CIWMB Conceden un Certificado de Reconocimiento a Estudiantes de Chico 22

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Presentaciones a Profesionales en Conferencias y Talleres 6
TABLA 2. Trabajos Presentados a Profesionales en Conferencias y Talleres 6
TABLA 3. Resumen de los Diseños de Mezcla Para Hormigón Engomado Encontrados en la Literatura 15
TABLA 4. Lista de Profesores que Asistieron a los Talleres de Formación de Docentes 23
TABLA 5. Resumen de Calificaciones de los Talleres de Formación para Profesores Universitarios 25

1.0 INTRODUCCIÓN

1.1 Trasfondo

En los Estados Unidos se generan aproximadamente 300 millones de neumáticos de desecho al año. Algunos de estos neumáticos terminan en montones, legales o ilegales. Los montones de neumáticos de desecho presentan problemas importantes de salud pública y problemas medioambientales. La forma curva de los neumáticos retiene el agua de lluvia, lo que supone un caldo de cultivo ideal para mosquitos y roedores que transmiten enfermedades, tales como el virus del Nilo Occidental. Los neumáticos son materiales muy combustibles y cuando se apilan en montones pueden comenzar a arder causando incendios de neumáticos que son muy difíciles de apagar. El equivalente de neumático por pasajero de automóvil (PTE) se estima que contiene la misma cantidad de energía que dos galones de petróleo (RPA, 2003). Aunque la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA) no considera los neumáticos de desecho como un residuo peligroso, la quema de neumáticos libera componentes tóxicos que contaminan el aire, suelo y el agua (EPA, 2008). Los organismos públicos y las empresas privadas han gastado millones de dólares apagando incendios de neumáticos en todo el país.

Muchos estados han establecido programas de eliminación de montones de neumáticos, los cuales han ayudado a reducir de forma significativa el número de neumáticos apilados en montones. En 1994, se calcula que alrededor de 700 a 800 millones de neumáticos de desecho se apilaban en montones. Actualmente, el número de neumáticos de desecho amontonados se ha reducido a menos de 200 millones. Los proyectos de ingeniería civil en ocasiones pueden usar esos neumáticos apilados, los cuales suelen ser más sucios que los desechos de neumáticos "frescos", ayudando de esta forma a disminuir esos montones.

Según el informe de la *Rubber Manufacturing Association* (RMA, asociación de fabricación de caucho), el reciclaje y reutilización de los neumáticos de desecho en los Estados Unidos ha mejorado significativamente (RMA. 2006) Por ejemplo, en 2005 alrededor del 78 por ciento del número total de neumáticos de desecho generados fueron reciclados y reutilizados, mientras que sólo el 10 por ciento del total de neumáticos de desecho eran reutilizados en 1990. Los neumáticos de desecho pueden usarse en una variedad de formas. Los principales mercados son el combustible derivado de neumáticos, aplicaciones de ingeniería civil y aplicaciones de caucho triturado incluyendo asfalto engomado. Los combustibles derivados de neumáticos son responsables del 52 por ciento de los residuos de neumáticos a nivel nacional en 2005, los que consumieron alrededor de 155 millones de neumáticos. Las aplicaciones de ingeniería civil, que suponen el segundo mercado más grande, consumieron más de 49 millones de neumáticos en 2005. El caucho triturado usado en el asfalto engomado consumió alrededor del 12 por ciento del número total de neumáticos de desecho. Sin embargo, alrededor del 10 por ciento de los neumáticos desechados cada año siguen terminando en vertederos, lo que significa que no se usan de forma beneficiosa y que ocupan espacio valioso en los vertederos.

Las aplicaciones de ingeniería civil incluyen el uso de agregados derivados de neumáticos (TDA) en: construcción de carreteras, aplicaciones de relleno, campos de lixiviación séptica, relleno para muros de contención, relleno ligero para cementación y métodos para el control de la vibración y sonido. Los productos de neumáticos de desecho poseen muchas propiedades beneficiosas que son útiles para esas aplicaciones. Los agregados derivados de neumáticos

(TDA) fabricados con neumáticos triturados, son ligeros, poseen un muy buen aislamiento térmico, alta permeabilidad y tienen buenas capacidades antivibración (Humphrey, 2003).

Los mercados de caucho triturado y caucho en migajas han estado creciendo durante los últimos años. El asfalto engomado o el hormigón asfáltico engomado (RAC) es el mayor mercado para el caucho triturado. De acuerdo a la asociación del caucho *Rubber Pavement Association*, desde 1990 más de 30 millones de neumáticos se han usado en asfalto engomado para pavimento, lo que equivale a 40 veces la distancia de la tierra a la luna cuando se pone un neumático sobre otro (RPA, 2008). El caucho triturado puede modificar beneficiosamente el desempeño físico del hormigón asfáltico. Se ha demostrado que, si se usa correctamente, el asfalto engomado puede aumentar la vida de servicio del pavimento, reducir el mantenimiento, disminuir los costes cíclicos vitales, reducir el ruido de carretera, aumentar el drenaje, aumentar la seguridad y ayudar a mejorar el medioambiente.

Usar neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil y transportes es una propuesta compleja y desafiante. Han habido algunos proyectos fracasados en el pasado, como los incendios de cementación en los estados de Washington y Colorado debido al calentamiento interno de los TDA en 1995 (Baker et. al., 2003). Debe educarse a los ingenieros para que sepan cómo usar estos productos de construcciones especiales de forma correcta. Para fomentar la sostenibilidad en el uso de neumáticos de desecho en la ingeniería civil y de transportes, el objetivo principal de este estudio fue desarrollar y difundir materiales didácticos adecuados para programas universitarios que puedan ser usados en la formación de los futuros ingenieros.

1.2 Objetivos

Los objetivos de esta investigación fueron:

- Hacer una síntesis sobre la última tecnología en el uso de neumáticos de desecho en aplicaciones para ingeniería civil y de transportes.
- Desarrollar y difundir materiales didácticos efectivos para educar a docentes y alumnos universitarios sobre el uso de productos de neumáticos de desecho en la ingeniería civil.
- Fomentar la sostenibilidad mediante el uso de neumáticos de desecho en las aplicaciones de ingeniería civil en la educación universitaria.
- Continuar la formación de profesionales sobre cómo usar productos de neumáticos de desecho para aplicaciones de ingeniería civil y de transporte por medio de publicaciones y presentaciones en conferencias y talleres.

Para asegurar el cumplimiento de dichos objetivos, se identificaron las siguientes tareas:

Tarea 1. Identificar las fuentes clave de recursos de información

Tarea 2. Diseñar esquemas detallados de curso

Tarea 3. Realizar ensayos de presentaciones de clase y sus impresiones

Tarea 4. Identificar centros para impartir los cursos y elaborar el folleto del curso

Tarea 5. Preparar e impartir las presentaciones para profesionales

Tarea 6. Evaluaciones

Tarea 7. Desarrollar la estructura en detalle para cada módulo didáctico

Tarea 8. Desarrollar materiales de información/ayudas visuales para los módulos

Tarea 9. Presentar el material a alumnos de primer o segundo año en universidades técnicas

Tarea 10. Colaborar con docentes de universidades privadas, la *California State University* y el University of California Faculty para presentar los módulos el curso.

Tarea 11. Evaluación del proyecto, y

Tarea 12. Preparación del informe final.

En conjunto con el personal de CIWMB, las tareas anteriores se modificaron para dar más énfasis al desarrollo de programas universitarios que a la formación continua de profesionales. El número de clases universitarias para las que se desarrollaron materiales didácticos se aumentó de las ocho iniciales a once cursos distintos de ingeniería civil.

Este informe está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se presentan los resultados de la revisión bibliografiíta completa realizada. La sección 3 habla acerca de la formación continua de profesionales desde el desarrollo de materiales didácticos a presentaciones en diversos talleres y conferencias. La sección 4 trata sobre el desarrollo de programas universitarios para enseñar a los estudiantes universitarios cómo usar los neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil y de transportes. La sección 5 describe como difundir los materiales didácticos desarrollados a otras universidades o centros técnicos de California. La Sección 6 muestra las conclusiones de este proyecto y las recomendaciones para futuros trabajos.

2.0 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Esta tarea implicó obtener información sobre tecnologías y Prácticas de vanguardia en el uso de neumáticos de desecho en proyectos de ingeniería civil y transportes. La información recogida o conocimientos obtenidos se sintetizaron y usó para desarrollar los módulos didácticos para cursos y presentaciones para enseñar las aplicaciones RAC y CE de uso de neumáticos de desecho. Los investigadores han creado una carpeta de proyecto en el servidor de Ingeniería civil para compartir esta información con los miembros del equipo de proyecto. Al completar esta revisión bibliográfica y comunicarnos con expertos clave, hemos identificado las principales fuentes de información sobre el uso de goma de neumáticos reciclados en aplicaciones RAC y CE. Las publicaciones detalladas pueden encontrarse en la Web en el siguiente enlace: http://www.ecst.csuchico.edu/cp2c/ciwmb/TireProjectLiteratureIndex.html. Mucha de esta información está protegida por derechos de autor, por lo que no puede ser puesta a disposición general. Lo que sigue es una breve descripción de los recursos principales por categoría.

2.1 Hormigón Asfáltico Engomado (RAC)

El hormigón asfáltico engomado, al que Caltrans llama asfalto engomado de mezcla caliente (Rubberized Hot Mix Asphalt) empezó a usarse en los años 70. Hay numerosas referencias útiles disponibles sobre este tema. Las siguientes son las más importantes:

1. Curso de formación piloto sobre hormigón asfáltico engomado ofrecido por Caltrans - Junio de 2006
   - ¾ Presentaciones
     - Preludio RAC
     - Introducción a RAC
     - Diseño Estructural de RAC
     - Materiales y Diseño RAC
     - Construcción con RAC
     - Guía de Inspección RAC
     - Resumen RAC
   - ¾ Referencias
     - Guía de Diseño y Construcción con Asfalto Engomado, Volumen I
     - Guía de Uso asfáltico Engomado de Caltrans
     - Factibilidad de Reciclaje RAC
     - Síntesis de RAC
     - RAC-G SSP, Versión 12-12-05
     - RAC-O SSP, Versión 12-12-05
     - Manual de Rehabilitación – Junio 2001
     - Consideraciones Sobre Diseño Estructural

2. Uso de Goma de Residuos de Neumáticos, 2-8-2005
3. Proyectos de Hormigón Asfáltico Engomado, Pavimentos Flexibles de Caltrans
   - Fotos del Proyecto RAC dist. 1
   - Fotos sobre el terreno Firebaugh
   - Proyectos con garantía de 5 años

4. RAC 101 – Uso Asfalto Engomado en Pavimentos
5. RAC 105 – Descripción General de Inspección de Construcción
6. Manejo de Residuos de Neumáticos, EPA (Web)
7. Rubber Pavement Association (Asociación de Fabricantes de Caucho Para Pavimento)
8. Trabajo MACTEC para Caltrans y CIWMB

2.2 Aplicaciones en Ingeniería Civil (CE) de Neumáticos de Desecho

Se dispone de una cantidad importante de bibliografía sobre el uso de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil. La mayoría de la literatura disponible es específica y se cita como material de referencia al final de los capítulos de cada módulo. Algunos de los materiales de referencia más importantes son:

1. Aplicaciones de Ingenieria Civil con Agregados de Neumáticos *Civil Engineering Applications using Tire Derived Aggregates* (TDA) – Informe de Dana Humphrey
2. Centro de Recursos de Materiales de Reciclado *Recycling Materials Resource Center* (RMRC)
3. Aplicaciones en Ingenieria Civil de Neumáticos de Desecho *Civil Engineering Applications of Scrap Tire* – EPA
4. Referencias
    - Relleno y Cementación de Base
    - Relleno para Soportes de Muros y Puentes
    - Aislamiento de Base para Carreteras
    - Vertederos
    - Campos de Drenaje de Sistema Séptico
    - Sustituto de Gravilla
    - Drenaje en Cimientos de Edificios y Aislamiento de Cimientos de Edificios
5. Grupo de Trabajo Sobre Neumáticos de Desecho o *Scrap Tire Workgroup* RCC
6. Noticias de Neumáticos de Desecho (Web)
7. Dana Humphrey – Universidad de Maine
    - Aplicación en Ingeniería Civil de Virutas de Neumáticos (Web)
    - Trabajo para CIWMB
8. Agregados Derivados de Neumáticos (TDA)
9. Publicaciones de CIWMB (Web)
10. Normas ASTM

3.0 FORMACIÓN CONTINUA DE PROFESIONALES

3.1 Desarrollo de presentaciones

Los autores elaboraron materiales didácticos para profesionales y los presentaron en distintos lugares. Para hormigón asfáltico engomado (RAC), se desarrollaron presentaciones sobre Asfalto Engomado 101 en formatos de duración de 2, 4 y 6 horas. Se han incorporado y usado durante las presentaciones profesionales material de presentación de Kennec., Inc., y otros investigadores sobre el uso de agregados derivados de neumáticos (TDA) en aplicaciones de ingeniería civil. Como ejemplo, la presentación para el asfalto engomado 101 para profesionales y TDA en California de Kennec Inc., se incluye en el Anexo A.

3.2. Logros en la Formación Continua

Este esfuerzo para la formación continua de profesionales se redujo una vez se determinó que el trabajo con estudiantes era más efectivo. Se han realizado presentaciones en varias conferencias y talleres profesionales. La siguiente tabla resume las fechas y lugares de dichas conferencias y talleres:

TABLA 1. Presentaciones a Profesionales en Conferencias y Talleres

Conferencia o Taller	Fecha	Lugar
Reunión técnica de la asociación de pavimento asfáltico (*California Asphalt Paving Association*) (CalAPA)	5 de agosto 2008	Oakland, CA
Asamblea anual de la asociación de superintendentes de mantenimiento o *California Maintenance Superintendent Association* (MSA)	27 de agosto 2008	Rohnert Park, CA
Asamblea anual del consejo de investigación de transportes o *Transportation Research Board* (TRB)	12 de enero 2009	Washington, D.C.
Conferencia de la sociedad estadounidense de profesores de ingeniería *American Society for Engineering Educators* (PSW)	20 de marzo 2009	San Diego, CA
Taller del capítulo de la zona norte de California de la asociación estadounidense de obras públicas American Public Works Associations (APWA)	24 de abril 2009	Chico, CA
4ª Conferencia sobre asfalto engomado *Rubber Modified Asphalt Conference*	7 de mayo 2009	Akron, OH
Asfalto engomado *Asphalt Rubber* 2009	Noviembre de 2009	Nanjing, China

Para difundir estos conocimientos a nivel nacional, se publicaron trabajos en TRB y ASEE. Otro trabajo sobre el asfalto engomado ha sido seleccionado para presentarse en la conferencia Asphalt Rubber 2009 a realizarse en noviembre de 20009. En la tabla 2 se incluye un resumen de los trabajos presentados.

TABLA 2. Trabajos Presentados a Profesionales en Conferencias y Talleres

Título del Trabajo	Nombre de la Conferencia	Fecha	Lugar
Promoting Sustainability through Educating Undergraduate Students on Applications of Waste Tire Products in Civil Engineering and Transportation (promoción de la sostenibilidad a través de la formación de estudiantes universitarios sobre aplicaciones de productos de neumáticos de	Asamblea anual del consejo de investigación de transportes *Transportation Research Board* (TRB)	12 de enero 2009	Washington, D.C.

desecho en ingeniería civil y transportes)			
Programa de Estudio Sobre el Uso de Neumáticos de Desecho en Aplicaciones de Ingeniería Civil	Conferencia de la sociedad estadounidense de profesores de ingenieria *American Society for Engineering Educators* (PSW)	20 de marzo 2009	San Diego, CA
Promoting Asphalt Rubber Application through Education (Promoción de la aplicación del asfalto engomado a través de la educación)	Asfalto modificado con caucho *Asphalt Rubber* 2009	Noviembre de 2009	Nanjing, China

4.0 ELABORACIÓN DE MATERIALES DE CLASE PARA PROGRAMAS UNIVERSITARIOS

4.1 Trasfondo

El uso de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil y transportes es un tema multidisciplinario. No hay ninguna clase en ingeniería civil que cubra todos los aspectos de este tema tan amplio. Al inicio del proyecto, se compararon dos enfoques distintos:

- Desarrollar una nueva clase que incluyera todos los aspectos de las aplicaciones de neumáticos de desecho
- Añadir módulos didácticos a clases de distintos niveles en una variedad de clases de ingeniería civil relacionadas. Después de una profunda discusión, se escogió este segundo método porque es más flexible y permite llegar a más estudiantes.

Para cada módulo didáctico se han creado presentaciones de Power Point, ejercicios y materiales de referencia. Esto permite a los instructores incorporar más fácilmente estos módulos en sus propios cursos.

Por tanto, se desarrollaron módulos didácticos sobre aplicaciones de neumáticos de desecho para una serie de cursos de ingeniería civil para niveles de primer año a superiores. Cada módulo contiene una o más disertaciones. La figura 1 ilustra los cursos para los que se elaboraron estos módulos didácticos. Se ha preparado un capítulo (o narrativa) para los módulos de cada curso en forma de borrador para dar al tutor información de base adicional sobre cada tema.

Al ofrecer módulos didácticos para aplicaciones de neumáticos de desecho en distinto niveles de la educación superior, se puede llegar a un mayor número de estudiantes que si se hiciera una única clase electiva Cuando estos estudiantes se gradúen, habrán visto aplicaciones de neumáticos de desecho varias veces. Se consideró que era una forma más efectiva de enseñar a los estudiantes universitarios sobre materiales no convencionales, tales como los productos de neumáticos de desecho.

Los módulos didácticos se desarrollaron para ser independientes entre sí. Cada módulo enfatiza sobre un aspecto distinto de las aplicaciones de neumáticos de desecho. Algunos discuten aplicaciones de ingeniería geotécnica, mientras que otros pueden ilustrar la modificación de material de pavimentación. Además, no es necesario que se ofrezcan en conjunto. El formato de los materiales didácticos es flexible para que los profesores e instructores puedan adaptar los módulos a sus necesidades de enseñanza según su conveniencia. Los módulos didácticos incluyen presentaciones de Power Point, ejercicios y algunos proyectos pilotos de estudiantes están disponibles en el sitio Web del proyecto: http://www.ecst.csuchico.edu/cp2c/ciwmb/education/. Los módulos didácticos y las presentaciones de clase también pueden encontrarse en el Anexo B de este informe.

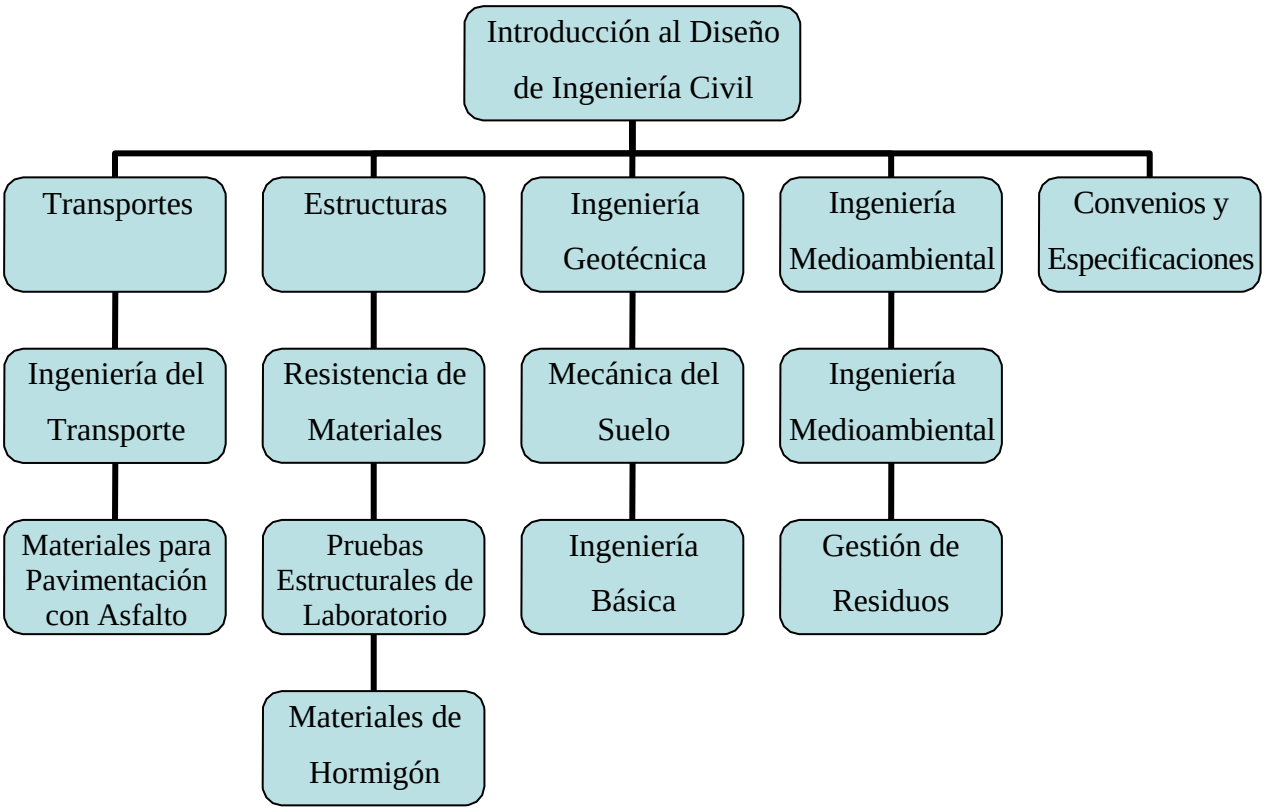


FIGURA 1. Guía Para la Enseñanza de Aplicaciones de Neumáticos de Desecho en el Programa de Ingeniería Civil

4.2 Resumen de los Módulos Didácticos

Para ayudar a la enseñanza de estos módulos, se han desarrollado materiales complementarios en un formato de capítulos a manera de borrador. Cada clase o módulo se aborda en su propio capítulo. Las siguientes secciones describen los objetivos, alcance y componentes principales de cada capítulo. Los contenidos detallados de cada capítulo se incluyen en el Anexo C. Las siguientes secciones entregan un breve sumario de todos los módulos elaborados.

4.2.1 Introducción al Diseño de Ingeniería Civil

El objetivo de esta clase es introducir a los estudiantes universitarios a los neumáticos de desecho y entregarles un panorama general sobre la utilización de productos de neumáticos de desecho en una variedad de aplicaciones de ingeniería civil. Es importante introducir a los estudiantes a la importancia de usar materiales reciclados para eliminarlos del flujo de residuos y conservar recursos naturales valiosos. Los estudiantes deberían entender la importancia de proteger el medio ambiente. También deberían aprender a fomentar un desarrollo saludable y sostenible en la sociedad.

La clase presenta materiales de neumáticos de desecho mencionando el impacto medioambiental negativo en caso de no manejar adecuadamente los neumáticos de desecho. Cada año se generan unos 300 millones de neumáticos de desecho, de los cuales alrededor de 40 millones se producen solamente en California. Aunque la mayoría de los neumáticos de desecho se reciclan y reutilizan, un número importante de ellos se dejan en vertederos o se apilan en montones. En 1983, una quema de neumáticos destruyo unos 7 millones de neumáticos en Rhinehart, Virginia. El fuego siguió ardiendo durante nueve meses, contaminando con elementos tóxicos como plomo y arsénico. En 1998, un gran incendio quemó aproximadamente 7 millones de neumáticos en la instalación no autorizada de desecho de neumáticos Royster S.F. situada en Tracy, California. Se apago después de 26 meses, con agua y espuma. En septiembre de 1999, un rayo provoco el incendio de los neumáticos apilados en la pequeña ciudad de Westley, California. El fuego ardió durante tres meses. Fueron necesarios siete años para limpiar sus efectos a un coste de 20 millones de dólares aproximadamente. La figura 3 muestra una fotografía del incendio de neumáticos en Westley.

La clase también cubre los beneficios y desafíos de usar productos derivados de los neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil y transportes. También habla acerca de las propiedades físicas de los agregados derivados de los neumáticos de desechos. Aún más importante, presenta un panorama de las aplicaciones principales en ingeniería civil y de transportes, incluyendo los TDA (agregados derivados de neumáticos) en materiales de relleno para muros de contención y soportes de puentes, relleno ligero para cementación, capa aislante para base de carretera, materiales antivibración para líneas férreas y asfalto engomado de mezcla caliente para pavimento. También aporta a los estudiantes una hoja de ruta de las clases de ingeniería civil que podrían incluir aplicaciones de los neumáticos de desecho.

FIGURA 2. Incendio de Neumáticos en Westley, California en Septiembre de 1999

(Del sitio Web Earth-Link, 2008)

4.2.2 Resistencia de Materiales

Esta clase trata principalmente de las propiedades físicas de los agregados derivados de neumáticos. Los TDA son piezas de neumáticos triturados que normalmente miden entre 1 y 12 pulgadas de tamaño máximo. Las propiedades de los TDA que afectan el desempeño en ingeniería son: gradación, gravedad específica, capacidad de absorción, comprimibilidad, elasticidad de módulos, fijación dependiente del tiempo de los rellenos TDA, resistencia al corte, conductividad hidráulica y conductividad termal.

Esta clase también cubre un modelo general compuesto por una combinación de los modelos Maxwell y Kelvin usando elementos de resorte y amortiguación. El modelo puede usarse para analizar las características de disipación de energía y la mitigación de vibración de los TDA. Los TDA han sido usados como material antivibración para una línea de tren ligero por el organismo de transportes *Valley Transit Authority* (VTA) en la zona de la plataforma de California. Los resultados muestran que es un material de atenuación de vibración muy económico. Como se muestra en la Figura 3, el nivel media de vibración de una línea de tren ligero se ha reducido en alrededor de 10 dB para el rango de 63 a 250 Hz comparado con la sección de control. Esta es una reducción importante porque dB es una escala de registro en la que cada 10 dB representa un orden de magnitud de reducción en la vibración transmitida. El proyecto también ahorró

alrededor de $1 a $2 millones en VTA comparado con la técnica de mitigación de vibraciones con losa flotante.

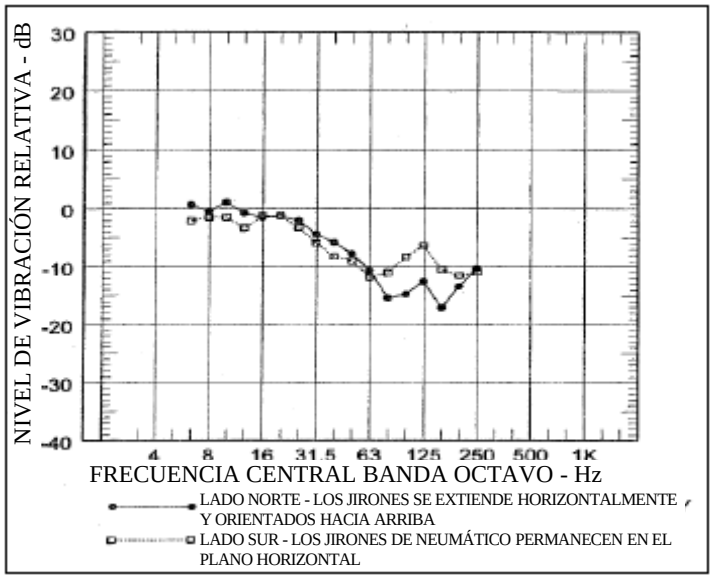


FIGURA 3. Reducción de la Vibración Relativa Para el Tren Ligero VTA Usando TDA

(Humphrey, 2003)

4.2.3 Pruebas Estructurales de Laboratorio - Resistencia al Corte

Esta parte de la disertación sobre pruebas estructurales de laboratorio a los TDA aborda la relación estrés-resistencia de los TDA. Esta disertación presenta los métodos más comunes para medir la resistencia al corte de los materiales granulados, incluyendo tierra, virutas de goma y pulido de neumáticos. La parte de laboratorio de la clase permite a los estudiantes probar la resistencia al corte de la viruta de goma usando aparatos de corte directo.

También se realizó una revisión bibliográfica y comparación de los parámetros de resistencia al corte para diferentes fuentes. La resistencia al corte de los TDA depende sobre todo de: (a) tamaño y forma de las piezas de goma de neumático, (b) densidad del empaquetado, (c) magnitud de la carga comprimida normal, (d) gradación y (e) orientación de las hilos de neumático.

4.2.4 Convenios y Especificaciones

Esta clase se compone de dos módulos. Uno está dedicado a las normas internacionales ASTM; y el otro a las especificaciones del asfalto engomado de mezcla caliente. Se cubren una serie de normas ASTM relacionadas con las aplicaciones de neumáticos de desecho. La más importante es la norma ASTM D6270 la cual incluye definiciones detalladas sobre la goma de neumáticos, características del material, uso, prácticas de construcción, directrices para rellenos y lixiviación, etc. La clase también entrega los antecedentes necesarios sobre las normas ASTM International.

La disertación sobre especificaciones empieza con los distintos tipos y aspectos de las especificaciones. Como ejemplos, se usan especificaciones estándar usando las especificaciones estándar de Caltrans para RHMO-O (asfalto engomado de mezcla caliente de granulometría abierta) y RHMA-G (asfalto engomado de mezcla caliente de granulometría discontinua).

4.2.5 Mecánica del Suelos

El agregado derivado de neumático (TDA) posee varias propiedades físicas únicas que pueden usarse en ingeniería geotécnica. La densidad sobre el terreno de los TDA varia entre 45 lb/ft^3 a 58 lb/ft^3, lo cual equivale a cerca de 1/3 de la unidad de peso del suelo. Los TDA pueden usarse como material ligero para construir cementación sobre suelos de base débil y comprimible. Los TDA poseen una permeabilidad alta, mas de 1 cm./seg., lo que puede reemplazar el agregado convencional para usarse como medio de recolección de gas o material de recolección de lixiviado. Los TDA son un material con buen asilamiento térmico, que es 8 veces superior al de la gravilla. En climas fríos, colocar una capa de neumático triturado de 6 a 12 pulgadas de espesor bajo la carretera puede evitar que los suelos de base se congelen. Además, el exceso de agua puede liberarse cuando los suelos de base se descongelen. La alta permeabilidad de los neumáticos triturados permite que el agua drene desde abajo de la carretera, evitando daño a la superficie.

En el material de clase, se usa el proyecto del intercambiador de Dixon Landing en el cruce de I-880 con Dixon Landing Road como estudio de caso para ilustrar el diseño, construcción y coste beneficio del proyecto. La cementación para el intercambiador debía construirse sobre unos 30 pies de barro de la plataforma de San Francisco, que es un suelo muy comprimible. Se requería usar material de relleno ligero para la mayoría de las partes de relleno para reducir el asentamiento final. Para la mayoría de proyectos de construcción sobre tipos de suelo de arcilla blanda, el uso de TDA como material de relleno ligero es considerablemente más barato que otras alternativas. El proyecto del intercambiador de Dixon Landing uso 6.627 toneladas o 662.700 de equivalencia de neumático por pasajero (PTE) de TDA. Los ahorros en coste para Caltrans fueron $447.000 comparados con el coste de usar agregado ligero para el proyecto. Cuando se resta el precio de compra de TDA, el ahorro en coste sigue siendo $230.000. La figura 4 muestra la comparación TDA para el intercambiador Dixon.

FIGURA 4. El Relleno Para Cementación del Intercambiador de Dixon Landing, con TDA Compactado

(Kennec, Inc. 2008)

Otro estudio de caso para la clase de mecánica de suelos usando TDA es el aislamiento de base para Witter Farm Road en Orono, Maine. La escarcha en esta zona de clima frío puede causar el levantamiento de la carretera y puede agrietar el asfalto, mientras que el descongelamiento debilita la base de la carretera lo que puede causar surcos en la gravilla y agrietamiento del asfalto. Considerando los resultados de las pruebas, la profundidad de la escarcha se redujo de 55 pulgadas en la sección de control a 30 pulgadas en la sección con relleno de TDA.

La clase también presenta el uso de TDA en la reparación de la pendiente de Marina Drive en Ukiah, California. Como se muestra en la figura 5, una pendiente dañó Marina Drive haciéndolo inutilizable. Al usar TDA como material de relleno ligero en reemplazo del típico relleno de suelos, se requiere menos excavación y se puede usar un diseño más económico. El proyecto utilizó alrededor de 2.000 toneladas o 200.000 neumáticos PTE.

FIGURA 5. Sección de Pendiente Dañada en Marina Drive, Ukiah, CA

4.2.6 Materiales de Hormigón

El hormigón engomado u hormigón engomado consiste en mezclar goma de neumático con cemento de hormigón tipo Portland, reemplazando una proporción del agregado de mineral con caucho pulverizado. Esto cambia las propiedades físicas del hormigón.

Uno de los factores más importantes en el material de hormigón engomado es el diseño de la mezcla. De la revisión bibliográfica que se muestra en la Tabla 3, se desprende que los factores principales en el diseño de mezcla son las proporciones de goma triturada por volumen o por peso de mezcla, la relación de agua y cemento, el tipo y contenido de la goma.

TABLA 3. Resumen de los Diseños de Mezcla Para Hormigón Engomado Encontrados en la Literatura

Autor	Tipo de Goma	Contenido de la Goma	Método de Diseño de Mezcla
Kaloush et. al.	Goma Pulverizada de 1mm	0, 50, 100, 150, 200, y 300 1b /cuyd	Reemplaza agregado fino con caucho triturado por peso, relación aumentada de w/c (wáter/cement = agua/cemento)
Fedroff et. al.	Polvo extra fino	0, 10, 20, y 30%	Por peso del cemento en la mezcla ajustada a una relación w/c para obtener 3 a 5 pulgadas de caída
Tantala et. al.	Goma Pulida	5 y 10%	Reemplazo del 5% y del 10% de agregado grueso con goma pulida por volumen
Schimizze et. al.	Goma Reciclada Fina/Gruesa	5% de mezcla de diseño por peso	Bajada tanto de 1. agregado fino; y 2.agregado fino y grueso para obtener un 5% de goma por peso
Biel and Lee	Virutas de Goma menores de 3/8"	0 a 90% en incrementos de 15%	Reemplazo del agregado fino con migas de goma por volumen, y que da de 0 a 25% de goma por volumen en mezcla
Eldin et.al.	Chips de neumático granulado, caucho en migajas fino	0,25,50,75, 100% por volumen	Prueba de especímenes colocando agregado grueso o fino

Se ha realizado una cantidad importante de investigación en el uso de partículas de neumáticos de desecho en el hormigón de cemento tipo Portland. Aunque la resistencia comprimida y la rigidez de las mezclas de hormigón disminuyen dramáticamente a mayor contenido de goma, se ha observado que la ductilidad, dureza y la deformación por tracción aumentan con cantidades bajas de partículas de goma. El hormigón engomado puede ser más flexible y resistente al agrietamiento para pavimento ligero. Puede amortiguar la vibración y mitigar la transmisión del sonido. Puede utilizarse para absorber la energía causada por fuerzas dinámicas, tales como los terremotos. También puede aumentar la durabilidad de congelación-descongelación del hormigón.

4.2.7 Ingeniería Básica

La presión lateral del terreno es la presión ejercida por el material de relleno en la pared de una estructura como un muro de contención. Puede determinarse con los coeficientes de presión lateral del terreno, los que se calculan al dividir la tensión horizontal por la tensión vertical. Los TDA también pueden reducir la presión lateral del terreno hasta un 50 por ciento, comparado con

el material de relleno convencional para suelos. También tienen buenas propiedades de drenaje para prevenir que el agua se acumule detrás del muro de contención. Por tanto, los TDA es un material muy bueno como relleno para muros de contención y soportes de puentes. Puede reducir el espesor del muro y usar menos acero de refuerzo.

Esta clase presenta las pruebas de escala completa de contención realizadas en la Universidad de Maine. La instalación de prueba tiene cuatro muros y una base de hormigón reforzado. El tamaño del laboratorio de pruebas es de 16 pies de alto por 15 pies de largo por 14,7 pies de ancho. La presión lateral de terreno, el desplazamiento horizontal, la fricción de la unión entre la pared y los TDA, fueron medidos en la prueba. Se averiguó que la tensión horizontal en reposo para los TDA es un 45 por ciento menos que la del relleno granulado convencional. La figura 6 muestra una foto de la carga del relleno TDA en la pared construida en el laboratorio de pruebas.

FIGURA 6. Prueba de Pared de Retención a Escala Completa Usando TDA Como Relleno

(Humphrey 2003)

La clase también introduce un estudio de caso de la construcción en la vida real de un muro de contención con TDA. La figura 7 muestra una imagen del proyecto. Caltrans y CIWMB construyeron 300 de pies lineales de pared de contención, a lo largo del muro 119, usando TDA como material de relleno ligero a lo largo de Route 91 en Riverside, California. El muro de contención mide 12 pies de alto, con 9.8 pies de TDA compacto rodeado de una membrana geotextil. Tiene unos 2 pies de cubierta de terreno. En lugares escogidos, se midieron las fuerzas usando células de presión; las tensiones en el acero de refuerzo se midieron con válvulas de medición de tensión; la temperatura de los materiales de neumáticos se midió con sensores de temperatura; y el desplazamiento del muro se controlo con un medidor de inclinación. El proyecto de contención fue muy exitoso y se usaron 837 toneladas de TDA. La siguiente imagen muestra la construcción del muro 119.

FIGURA 7. TDA Como Relleno Para Muro de Contención 119 en Riverside, California

(Kennec, 2008)

4.2.8 Ingeniería Medioambiental

Esta disertación se centra en los aspectos medioambientales del uso de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil y de transportes. Primero, presenta el impacto negativo que tiene el no reciclar y manejar adecuadamente los materiales de neumáticos de desecho. A continuación describe las propiedades de ingeniería de los TDA y del asfalto engomado. Se muestra el uso beneficioso de los materiales de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil, tales como relleno ligero, aplicaciones de vertedero, amortiguación de la vibración y el pavimento con asfalto engomado.

En consecuencia, se aborda la investigación sobre evaluación medioambiental del uso de TDA y el asfalto engomado. Se han llevado a cabo una cantidad significativa de investigaciones, tanto en estudios de laboratorio como pruebas sobre el terreno, con varios impactos medioambientales.

Proporciona a los estudiantes el conocimiento sobre a cuales factores medioambientales deberían prestar atención cuando usen neumáticos de desecho. Normalmente, la goma reciclada derivada de neumático triturado es un material reciclable seguro. Es importante reconocer que el impacto del neumático triturado en el medio ambiente varía de acuerdo a las condiciones del terreno y del agua en el lugar, especialmente los valores de Ph. Es posible que los productos de neumático triturado no sean seguros para su uso en aplicaciones donde el pH es demasiado alto o demasiado bajo.

4.2.9 Ingeniería de Transporte

El objetivo de la clase sobre ingeniería de transporte es informar a los estudiantes sobre la historia, beneficios, limitaciones y uso de asfalto engomado (AR) como material para pavimento. Esta clase se divide en cuatro módulos, y cada uno aborda un aspecto distinto de las aplicaciones de asfalto engomado.

En primer lugar se presenta a los estudiantes la historia del asfalto engomado y su uso como material de pavimentación. Se presentan estudios de caso de proyectos de revestimiento AR a escala completa realizados en California. Estos estudios esbozan la estrategia de uso de AR como revestimiento para reparar pavimentos dañados, y también habla acerca del diseño y resultados de los revestimientos con AR. También se incluyen los beneficios de usar pavimentos AR en reemplazo del asfalto convencional. El segundo módulo habla acerca del diseño estructural de los pavimentos AR. Este módulo toma como referencia un estudio de Caltrans de 2005 para discutir las prácticas revisadas en el uso de AR en pavimentos nuevos y como revestimiento. Se informa a los estudiantes sobre la estrategia de diseño recomendada para pavimentos nuevos y para revestimiento usando AR. También se ofrece un panorama general de prácticas de uso AR revisadas en revestimientos y pavimentos nuevos. Este módulo también incluye el análisis de coste y compara el AR con el asfalto convencional.

En el tercer módulo se introduce a los estudiantes a los procesos de manufactura y construcción de AR. El módulo aborda los procesos de pavimentación generales con énfasis en las diferentes prácticas entre AR y el asfalto convencional. El panorama sobre el proceso de manufactura informa a los estudiantes como se produce el AR y también destaca las diferencias operativas al trabajar con AR tales como temperaturas de aplicación y consolidación para la correcta colocación del AR. El último módulo de la clase aborda en detalle la producción de aglomerante para AR, de mezclas AR, la inspección del pavimento y la resolución de problemas. Algunos o todos los módulos pueden incluirse en esta clase.

4.2.10 Materiales Para Pavimentación con Asfalto

Esta disertación trata del diseño de aglomerante para el asfalto engomado (AR), los diferentes tipos de mezclas AR y las precauciones a tomar cuando se usa AR. Esta disertación define los distintos tipos de aglomerantes de asfalto engomado y explica cómo se produce cada uno. Los modificadores de caucho triturado (CRM) tienen la forma de neumáticos de desecho que se añaden al aglomerante. También se explica la interacción entre el CRM, el asfalto y los factores que inciden en ella. Cuando se diseña una mezcla AR, es necesario desarrollar un perfil de aglomerante que evalúe la compatibilidad, interacción y estabilidad de los materiales para un periodo de tiempo.

Los estudiantes reciben información sobre los tipos más usados de hormigón asfáltico con asfalto engomado de mezcla caliente, incluyendo asfalto engomado de mezcla caliente de granulometría discontinua (RHMA-G), asfalto engomado de mezcla caliente de granulometría abierta, y la mezcla asfalto engomado con alto contenido de aglomerante (RHMA-O-HB). Se describe el diseño, sus ventajas y especificaciones estándar para cada tipo de mezcla de asfalto engomado. Por ejemplo, la Figura 8 muestra que RHMA-O puede reducir las salpicaduras durante la temporada de lluvias mejorando así la seguridad.

FIGURA 8. Comparación de RHMA-O de Drenaje Libre Versus DGAC

(Caltrans 2003)

4.2.11 Gestión de Residuos Sólidos

Esta disertación cubre la aplicación de Agregados Derivados de Neumáticos (TDA) en los vertederos. La construcción de vertederos modernos mecanizados requiere grandes cantidades de material que posee las mismas propiedades que los TDA. Los TDA pueden usarse en muchas aplicaciones para vertederos.

La normativa federal exige que los vertederos usen una capa de material con un alto contenido de vacío entre los residuos y la capa impermeable del vertedero con el fin de contener la lixiviación hasta su eliminación. Esta capa se conoce como la capa de drenaje o de operaciones. Los TDA son una buena alternativa a la utilización de gravilla para este tipo de aplicación gracias a su alta permeabilidad. En necesario recolectar todo el lixiviado producido en un vertedero debido a su naturaleza tóxica. Los vertederos tienen sistemas de recolección de lixiviado que requieren materiales muy permeables como los TDA. Muchos vertederos tienen puntos bajos o sumideros donde se deja drenar el lixiviado y se recolecta para su eliminación posterior. Los TDA se han usado como medio de recolección para ese lixiviado. Los TDA también se han utilizado como sistemas de recirculación de lixiviado cuando son necesarios. En esos casos, los TDA se usan para aislar las tuberías perforadas que llevan el lixiviado de vuelta a la zona de relleno del vertedero. Los vertederos usan drenajes de pie para recolectar el lixiviado desde la base de los

vertederos. En esta aplicación los TDA se usa como un medio recolector, en que se deja drenar el lixiviado hacia una trinchera con un tubo perforado al fondo y relleno con TDA. Los TDA permiten que el lixiviado drene libremente hacia la trinchera y aísla el tubo perforado para evitar su obstrucción y daño mientras el lixiviado fluye dentro del tubo.

La normativa estatal y federal también requiere que los vertederos controlen y recolecten el gas metano producido durante la digestión anaeróbica de los residuos orgánicos. El metano que se genera dentro del vertedero tiende a seguir el camino de menor resistencia. Los TDA son un material excelente para los sistemas de control de gas debido a su alta permeabilidad. Los vertederos pueden usar trincheras de recolección de gas para extraer y capturar el gas metano. Las trincheras verticales que pasan a través del sellado impermeable del vertedero dejan que el gas metano escape del vertedero hacia un sistema de recolección. La trinchera vertical se compone de una tubería perforada rodeada de TDA. Este sistema permite que el metano se expulse del vertedero hacia un sistema de recolección. Los vertederos también usan sistemas de recolección de gas sin trincheras. En estos casos, se deja que el metano se expulse a través del sellado no permeable de pie, situado en al fondo del ascensor. Los TDA se colocan sobre en la puntera para permitir que el metano entre en el tubo perforado de recolección.

Debido a la alta permeabilidad y durabilidad de los TDA, este material también puede usarse para proteger y aislar piezas del sistema de recolección de gas. Los TDA se usan asimismo para aislar tubos de recolección horizontales y para proteger bocas de pozo de gas.

4.3 Opinión de los Estudiantes

Todas estas clases se han impartido a nivel universitario en la Universidad estatal de California, en Chico. Los resultados indican que los estudiantes están satisfechos con los módulos didácticos. Entienden la importancia de fomentar la sostenibilidad y el uso de materiales reciclados. Están contentos de poder añadir los productos de neumáticos de desecho a sus herramientas de aplicación en ingeniería civil. Han aumentado de forma importante su conocimiento de las aplicaciones del material de neumáticos de desecho. Fueron capaces de demostrar su conocimiento e interés en las aplicaciones de neumáticos usados mediante los proyectos del semestre, informes de laboratorio, presentaciones y ejercicios para la casa.

Como ejemplo, se evaluaron los siguientes resultados en la clase de primavera de Mecánica del Suelo de 2008:

a. Capacidad para diseñar y analizar datos, así como para interpretar resultados en un problema de estabilidad de pendiente usando neumáticos de desecho.
b. Conocimiento de las propiedades de ingeniería de los agregados derivados de los neumáticos de desecho, y aplicación de dichas propiedades en sus análisis de ingeniería.
c. Comprensión de la importancia y beneficios del uso de materiales reciclados, tales como neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil.

Los estudiantes formaron grupos para el trabajo de laboratorio. Se asignó a cada grupo un problema de estabilidad de pendiente para un proyecto de cementación. Tenían que usar el método de Bishop simplificado y el método ordinario de rebanadas para diseñar la pendiente y elegir los materiales a usar para la cementación. Debían comparar los materiales de relleno convencionales con los agregados derivados de neumático. Los grupos de estudiantes debían

enviar un informe formal de laboratorio y hacer una presentación de sus hallazgos. La figura 9 muestra los resultados de análisis de estabilidad de la pendiente realizados por los estudiantes usando TDA como material de relleno para cementación.

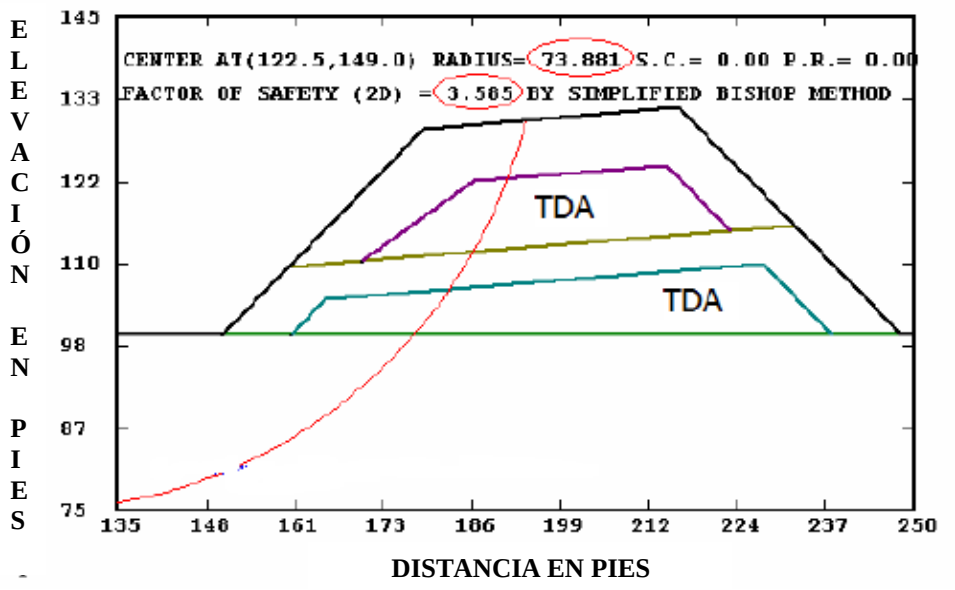


FIGURA 9. Resultado del Análisis de Estabilidad de Pendiente Usando el Método de Bishop Simplificado

La competencia de los estudiantes se mide por la nota obtenida en el informe de laboratorio y la presentación. Normalmente, un 90 a 100 por ciento representa maestría; un 80 por ciento, una competencia adecuada superior; un 70 por ciento. la competencia adecuada; y menos del 70 por ciento indica que al estudiante le falta competencia. La figura 10 muestra las notas obtenidas por los grupos de laboratorio en este proyecto. Los estudiantes se aprendieron los temas muy bien.

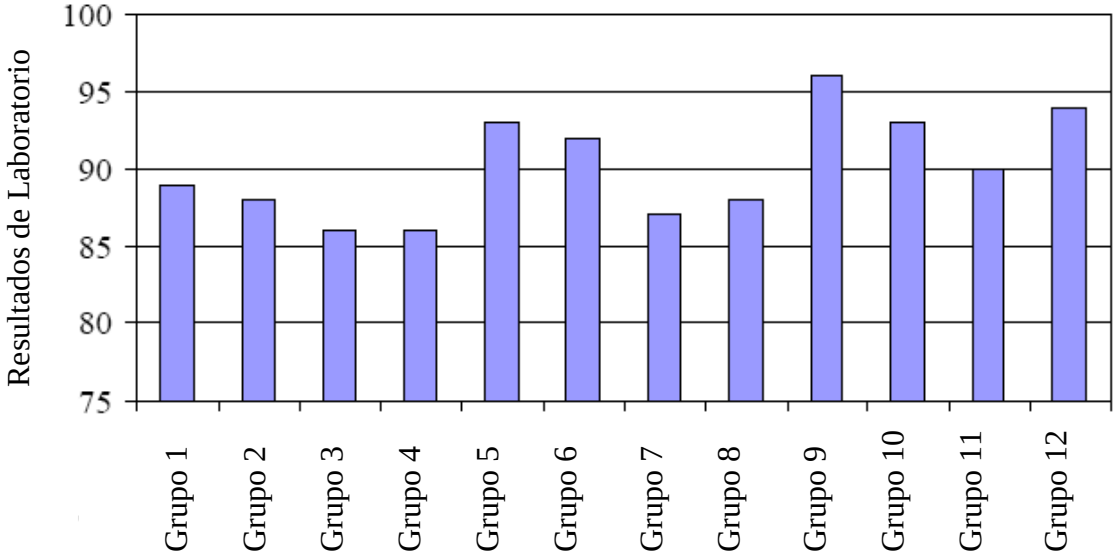


Figura 10. Notas de Laboratorio para Uso de Neumáticos de Desecho Como Relleno de Cementación en Análisis de Pendiente

4.4 Reconocimiento del Estudiante por el Consejo

El 14 de abril de 2009, dos estudiantes de Chico dieron una presentación de su proyecto sobre usos de neumáticos de desecho en pavimentos asfáltico engomado, y usando agregados derivados de neumáticos como material de relleno para la pared de contención en un hipotético proyecto de ensanchamiento de SH99. Los miembros del consejo quedaron muy complacidos con el trabajo de los estudiantes e hicieron comentarios muy positivos sobre su presentación. La figura 10 muestra los miembros del consejo CIWMB al momento de conceder a los dos estudiantes el certificado de reconocimiento.

FIGURA 10. Miembros del Consejo CIWMB Conceden un Certificado de Reconocimiento a Estudiantes de Chico

(De izquierda a derecha: Sheila Kuehl, Rosalie Mulé, John Laird, Students Julian Storelli y Cody Menefee, y Carole Migden)

5.0 DIFUSIÓN DE CONOCIMIENTOS A UNIVERSIDADES Y UNIVERSIDADES TÉCNICAS EN CALIFORNIA

5.1 Materiales de formación y taller para instructores

Se elaboró un manual de formación relacionado con el programa universitario que incluía las referencias más importantes. Se enviaron invitaciones a las facultades de ingeniería civil de distintas universidades de California que estaban interesadas en enseñar una o más clases relacionadas con la aplicación de neumáticos de desecho.

Se impartieron tres talleres de formación de educadores a profesores que daban clases relacionadas con el uso de aplicaciones de neumáticos de desecho en California. El 19 de diciembre de 2008 se realizó un taller de formación para profesores en Sacramento, CA para las universidades del norte de California. El 5 de enero de 2009 se impartió otro taller de formación para profesores en Sacramento, CA para las universidades del sur de California. Alrededor de catorce profesores de 11 universidades distintas asistieron a dichos talleres. El tercer taller se impartió en San Luis Obispo el 17 de abril de 2009. Este fue muy exitoso y contó con la participación de 22 profesores de 9 universidades distintas. Se incluye una lista de los asistentes a los talleres en la tabla 4.

Se pidió a los profesores que evaluaran la calidad de los materiales y las presentaciones en los talleres. Pensaron que los materiales didácticos eran muy útiles y podían ser incorporados a sus clases. Las presentaciones del taller están disponibles en el siguiente sitio Web: www.ecst.csuchico.edu/cp2c/ciwmb/education.

TABLA 4. Lista de Profesores que Asistieron a los Talleres de Formación de Docentes

Núm	Apellido	Nombre	Departamento	Universidad
1	Al Manaseer	Akthem	Ingeniera Civil y Medioambiental	San Jose State University
2	Andrei	Dragos	Ingeniería Civil	Cal Poly Pomona
3	Chai	Rob Y. H.	Ingeniera Civil y Medioambiental	University of California, Davis
4	Estrada	Hector	Ingeniería Civil	University of the Pacific
5	Farran	Hany	Ingeniería Civil	CAL POLY POMONA
6	Hanson	James	Ingeniera Civil y Medioambiental	California Polytechnic State University
7	Jia	Xudong	Departamento de Ingenieria Civil	Cal Poly Pomona
8	Khatri	Sikandar	Ingeniería Civil	San Francisco State University
9	Kim	Uksun	Ingeniera Civil y Medioambiental	California State University, Fullerton
10	Larralde	Jesus	Ingeniería Civil	Cal State University, Fresno
11	Lee	Luke	Ingeniería Civil	University of the Pacific
12	Lepech	Michael	Departamento de Ingenieria Civil y Medioambiental	Stanford University
13	Li	Yuwei	Centro Volvo para Transporte Urbano del Futuro	University of California at Berkeley
14	Liu	Lubo	Ingeniería Geomática y Civil	California State University Fresno
15	Mathias	Darlene	Ingeniería	Consumes River College
16	Mitra	Nilanjan	Ingeniería Civil	CalPoly San Luis Obispo
17	Mitra	Sudeshna	Ingeniería Civil	CalPoly San Luis Obispo
18	Mosallam	Ayman	INGENIERA CIVIL Y MEDIOAMBIENTAL	University of California, Irvine
19	Nelson	Yarrow	Ingeniera Civil y Medioambiental	Cal Poly, SLO

Núm	Apellido	Nombre	Departamento	Universidad
20	Nilsson	Tonya	Ingeniería Civil	San Jose State
21	Oskoorouchi	Ali	Ingeniera Civil y Medioambiental	San Jose State University
22	Pande	Nurag	Ingeniera Civil y Medioambiental	Cal Poly Sal Luis Obispo
23	Porbaha	Ali	Ingeniería Civil	CSU_Sacramento
24	Putcha	Chandrasekhar	Ingeniera Civil y Medioambiental	California State University, Fullerton
25	Putnam	Jim	Ingeniera Civil y Medioambiental	UCDavis
26	Qu	Bing	Ingeniera Civil y Medioambiental	California Polytechnic Stat e University
27	Rahim	Ashraf	Ingeniera Civil y Medioambiental	CalPoly State University
28	Reginato	Justin	Ingenieria Civil y Gestión de Ingenieria	University of the Pacific
29	Saadeh	Shadi	Ingeniería Civil	CSULB
30	Shafizadeh	Kevan	Ingeniería Civil	CSU Sacramento
31	Tarakji	Ghassan	Ingeniería civil, Facultad de Ingeniería	San Francisco State University
32	Tiwari	Binod	Ingeniería Civil y Medioambiental	California State University, Fullerton
33	Vigil	Sam	Departamento de Ingeniería Civil y Medioambiental	Cal Poly
34	Vucetic	Mladen	Ingeniería Civil y Medioambiental	University of California, Los Angeles (UCLA)
35	Xiao	Ming	Ingeniería Geomática y Civil	California State University , Fresno
36	Yesiller	Nazli	Ingeniería Civil y Medioambiental	California Polytechnic Stat e University

5.2 Presentaciones

Se ofrecieron conferencias para invitados en algunas universidades técnicas selectas del norte de California. El 1 de mayo de 2009 se ofreció una conferencia invitada sobre diseño de ingeniería civil para 30 estudiantes del Shasta College en Redding, CA. Tanto los estudiantes como el personal docente se mostraron interesados en el tema. Según lo que comentó el instructor (Joe Polin de Shasta College), los estudiantes siguieron hablando entre ellos durante bastante rato después de la presentación. Les gustó el tema y las aplicaciones de los productos de neumáticos de desecho. El 8 de mayo de 2009, el Dr. Joel Arthur hizo una presentación a una clase de ingeniería de nivel inferior en College of the Siskiyous. La persona de contacto en ese centro es Michael Read. Los estudiantes opinaron que la presentación e información recibida era muy valiosa y merecía la pena.

Se ofreció una presentación en la conferencia de la división suroeste pacifico de la American Society for Engineering Educators (conferencia de la asociación estadounidense de profesores de ingeniería) en San Diego el 20 de marzo de 2009. Muchos profesores universitarios de California asistieron a esa conferencia. Los asistentes hicieron preguntas sobre la sostenibilidad del uso de neumáticos de desecho. Se mostraron interesados en los materiales didácticos y el sitio Web.

Se ofreció una presentación en la 88ª Conferencia Anual del Transportation Research Board (Consejo de Investigación de Transportes, TRB por sus siglas en inglés) realizada el 11-15 de enero de 2009 en Washington DC. La reunión del TRB cubrió todas las áreas del transporte y atrajo a más de 10.000 profesionales incluyendo profesores universitarios de todo el mundo. Fue una oportunidad excelente para promover las aplicaciones de neumáticos de desecho en ingeniería civil y de transportes. Como muestra de ese interés, la Universidad de Nueva York en Buffalo solicitó acceso en línea a los materiales didácticos y manual de formación de CIWMB y CSU, en Chico.

Por último, se dio una presentación sobre el análisis de coste de ciclo vital de materiales de asfalto engomado en Akron, OH en mayo de 2009. Los asistentes se mostraron muy interesados en el tema y la formación fue muy útil para ayudar a seleccionar el tratamiento de pavimento apropiado incluyendo el asfalto con caucho. Esta presentación va incluida en el Anexo D.

5.2 Información y evaluación del taller para instructores

En cada taller de formación de docentes, los profesores rellenaron formularios de evaluación y dieron sugerencias para el proyecto. El formulario de evaluación de muestra se incluye en el Anexo E.

La siguiente tabla ofrece un resumen de las opiniones de los profesores universitarios que asistieron al taller. La calificación va de 1-5, siendo 1 insuficiente y 5 excelente.

TABLA 5. Resumen de Calificaciones de los Talleres de Formación Para Profesores Universitarios

Calidad de la Formación	Calificación Promedio	Desviación Estándar
1. ¿Cuál es su valoración general de este taller?	4.27	0.62
2. ¿Cree que esta formación será beneficiosa para enseñar aplicaciones de neumáticos de desecho?	4.32	0.63
3. Conocimiento general de los ponentes sobre los temas abordados.	4.32	0.70
4. Estilo de presentación general de los ponentes	4.18	0.83
5. Los temas se presentaron siguiendo un orden lógico	3.82	0.78
6. Utilidad del material utilizado	4.36	0.71

Los asistentes calificaron el taller de exitoso y significativo. Los siguientes son resúmenes de respuestas modelo a las preguntas de formación de profesores:

1. ¿Cuáles piensa usted que fueron los puntos fuertes del taller?

[Buena introducción al tema], [Es un tema nuevo y una área nueva donde se puede empezar a investigar], [Excelentes ponentes. Notas excelentes. Un ponente muy amable], [Muchos ejemplos buenos en términos de estudios de investigación así como de proyectos de construcción real], [Introducción de material nuevo de manera adecuada para las aplicaciones de perspectiva diferente], [Muy buen panorama sobre el uso de los productos de neumáticos de desecho. Buena interacción con la audiencia. Los ponentes sabían mucho], [Buena selección de diapositivas],

[Buena cobertura de materiales básicos en la mayor parte], [Tema relevante y oportuno, nueva idea y valor práctico], [La estructura del curso es muy manejable para los profesores interesados, muy oportuna la sostenibilidad como tema emergente], [Material de archivo muy útil. Buen repaso de los módulos didácticos, pero se podría acelerar para los miembros del profesorado. Bien que se respetara la puntualidad del programa], [Buen, panorama de TDA y RHMA, ejemplos, interacción en clase], [Los presentadores que trabajan en la industria eran buenos, tenían conocimientos prácticos], [Buenos ejemplos y gráficos excelentes], [El desarrollo del curso fue fantástico. La presencia de Joaquim Wright fue muy útil para entender completamente los usos de construcción].

2. ¿Cuáles piensa usted que fueron los puntos débiles del taller?

[Corta duración. Un día es demasiado poco para entender todos los aspectos del tema; dos días seria mejor], [Fue corto, podría tener más discusiones], [Ninguno], [Algunos ejemplos de algunos estados y del extranjero], [Seria mejor presentar más investigaciones], [Me gustaría que tuviera más información de pruebas y diseño con materiales. Por ejemplo, para ingeniería geotécnica hay mucha información de laboratorio sobre hidráulico, resistencia al corte y comprimibilidad y las migas de neumático y las mezclas de suelo/neumático triturado pueden incluirse en este módulo], [algunas de las tecnologías discutidas no han sido desarrolladas confiablemente].

3. ¿Qué sugeriría para mejorar el taller? ¿Cree usted que un seminario en línea o basado en la Web sería útil?

[Un prospecto numerado de seminario de 2 días. Sí, seminario/curso basado en la Web], [la Web puede ser útil para incorporar otros investigadores que trabajan en ese área]; [creo que el material presentado en el volumen encuadernado es amplio y muy claro. Presentaciones muy profesionales]; [Ponerlas en el material de estudio para que las personas interesadas pueden consultarlas]; [Hacer más investigación, poner recursos suficientes para más investigación y mayor colaboración entre la universidad y la industria. En línea está bien], [los seminarios basados en la Web serian una forma excelente de seguimiento para el seminario], [en persona es mejor que la versión en línea, especialmente para la duración de este curso (todo el día)], [Sí, mucho, a lo mejor el “Webminar” sería un elemento más regular a medida que lo implementemos en la enseñanza], [la interacción cara a cara se valora, una sala más grande, más tiempo para discutir los temas, seria útil para una sesión abierta de debate entre los profesores], [pedir a CIWMB que haga presentaciones sobre metas y prioridades]. [le gustaría tener las diapositivas de Gary Hick], [asegurar que todas las presentaciones están en prospectos], [más control de los asistentes para evitar preguntas inapropiadas].

4. Me gustaría recibir información adicional sobre los siguientes temas.

[Otras aplicaciones], [Investigación actual sobre aplicaciones geotécnicas], [prueba estructural de pavimentos con asfalto engomado], [estudios sobre ingeniería del transporte; tanto en términos de material para pavimentación como su implicación en el desempeño y seguridad], [Modelos para este nuevo material], [Mostrar el desempeño a largo plazo de las estructuras construidas con productos de neumáticos], [Lista extensa de referencias por tema de especialidad], [Obras en

California donde se podría haber usado RAPM], [Cadena de suministro/cadena de valor de neumáticos de desecho].

5. ¿Cómo se enteró de este seminario?

[Correo electrónico], [Llamada de Dr. Cheng], [Dr. Joel Arthur], [Correo electrónico de Dr. Cheng], [Correo electrónico], [Correo electrónico], [Correo electrónico y de Stacy Patenaude], [Correo electrónico], [Correo electrónico del Jefe del departamento], [Llamada del Dr. Arthur].

6. ¿Piensa usted usar algunos de los materiales presentados aquí en sus clases? Si responde no ¿por qué?

[Sí], [Sí], [Cuando sea relevante para mi Laboratorio de pruebas de hormigón, sí. Al menos para informar a los estudiantes de que existe esta tecnología], [Sí], [Sí], [Intentaré incorporar este material en mis clases], [Los módulos son útiles, creo que podré usarlos], [Sí], [Sí], [Sí, es muy útil tener módulos completos], [Probablemente]; [Sí], [Sí], [Sí, los usaré en clases de residuos sólidos y sostenibilidad].

7. ¿Tiene usted otros comentarios o preguntas?

[No], [Me gustaría seguir al tanto de las tendencias de investigación], [Agradezco la oportunidad de aprender más sobre materiales estructurales para pavimento], [Fue un taller muy interesante, sigan así. Educar a más personas], [Incluir las perspectivas de estudiantes, especialmente de los que han seguido el curso]; [Asegurarse de que los participantes entiende que este es material diseñado para enseñar. Esta no es una conferencia de investigación; no estamos hablando de resultados de investigación. La sala era demasiado pequeña. Incluir mezclas de caucho triturado/tierra, para expandir las aplicaciones de geotécnica], [sala más grande Un panel de discusión con todos los ponentes seria una buena forma para estimular un debate abierto], [Revisar si hay información repetida en cada ponencia].

6.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este fue un proyecto muy desafiante y gratificante. Se elaboraron materiales didácticos de nivel universitario que pueden ayudar a la sociedad de varias maneras, entre ellas:

- Beneficios medioambientales
- La utilización de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil como los agregados derivados de neumáticos
- Los neumáticos de desecho y su uso en aplicaciones de ingeniería de transportes como el hormigón asfáltico engomado.
- Educar a los estudiantes universitarios en el tema de la sostenibilidad y el uso de materiales reciclados

Las conclusiones y recomendaciones específicas se presentan a continuación.

6.1 Conclusiones

- Las aplicaciones de neumáticos de desecho cubren un amplio rango de áreas de la ingeniería civil, incluyendo la geotécnica, medioambiental, estructural y transportes.
- Los módulos didácticos o materiales de clase fueron desarrollados para cubrir clases desde primer año hasta niveles superiores. Las clases para primer año dan a los estudiantes una introducción y panorama general de los productos de neumáticos de desecho y sus aplicaciones. Las clases de nivel más bajo cubren propiedades materiales, pruebas y estándares. Las clases de nivel superior abordan las aplicaciones de neumáticos de desecho en ingeniería civil y de transporte.
- Los resultados indican que es una forma efectiva de enseñar las aplicaciones de los neumáticos de desecho y de llegar a un mayor número de estudiantes. Los estudiantes han demostrado conocimiento e interés en el uso sostenible de los materiales de neumáticos de desecho a través de su trabajo en las clases.
- La educación de los estudiantes es la forma más importante de formar a los nuevos ingenieros. Los estudiantes universitarios son más proclives a aprender nuevas tecnologías, tales como la aplicación de productos de neumáticos de desecho en sus futuros proyectos.
- Incorporar proyectos de aplicación de neumáticos de desecho en los programas universitarios es una forma ecológica de apoyar el uso de neumáticos de desecho. Mediante las clases piloto realizadas en CSU, Chico, los estudiantes aprendieron a convertir los productos de neumáticos de desecho en materiales valiosos después de recibir una adecuada formación sobre RAC y otras aplicaciones CE de los neumáticos de desecho. Ahora, como parte de su base de conocimientos, son mucho más conscientes de las aplicaciones ecológicas de los neumáticos de desecho así como de los materiales convencionales para ingeniería civil como el acero, hormigón, asfalto y madera.
- Después de consultar con el personal de CIWMB, se dieron talleres de formación continua. La mayor parte del esfuerzo se dedicó al desarrollo del programa universitario y la educación universitaria sobre aplicaciones de neumáticos de desecho en ingeniería civil y de transporte.

6.2 Recomendaciones

Se presentaron las siguientes recomendaciones como posibles tareas para el futuro: Estas incluyen:

- Se necesitan más estudios para explorar nuevas e innovadoras formas de aplicar los productos de neumáticos de desecho en ingeniería civil y de transportes. En aplicaciones de ingeniería civil, se requieren más investigaciones para que sean material de estudio de las propiedades, incluyendo parámetros de resistencia al corte, relaciones constitutivas, modelos materiales para disminución de la vibración y desempeño de TDA bajo cargas sísmicas. En el hormigón asfáltico engomado, las técnicas

emergentes como la mezcla caliente y asfalto engomado, o la mezcla terminal, aportarán mejores y más amplias aplicaciones del asfalto engomado a las aplicaciones de pavimentación de carreteras.

- Se recomienda realizar un estudio de seguimiento dos o tres años después del término de este proyecto. Es importante saber las necesidades y lecciones aprendidas de las distintas universidades. Un estudio de seguimiento garantizaría la educación sostenible y a largo plazo de las aplicaciones de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil.
- A medida que vayan apareciendo más resultados de investigación y proyectos, se deberán actualizar los materiales didácticos almacenados en el sitio Web de CSU, Chico.
- Los capítulos desarrollados en los anexos de este informe son preliminares. Deben ser refinados y revisados para que sean una herramienta más adecuada para el programa universitario sobre aplicaciones de neumáticos de desecho en ingeniería civil y de transporte.
- Se recomienda un acercamiento a más universidades técnicas para ofrecer estos recursos a los profesores para que los incluyan en sus clases.

7.0 REFERENCIAS

1. ASTM D 6270, Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications, August 1998, reapproved 2004.
2. Baker, T.E. et. al. Evaluation of the Use of Scrap Tires in Transportation Related Applications in the State of Washington, Olympia, WA, August 2003.
3. Biel, T.D., and H. Lee. Use of Recycled Tire Rubbers in Concrete. Infrastructure: New Materials and Methods of Repair, November 1994, pp. 351-358.
4. Caltrans. Caltrans Standard Specifications, Section 39, 2008.
5. California Department of Transportation. Recommendations for Using RAC in New Pavements and for Structural Overlays. Sacramento, CA. December, 2005.
6. EPA website. http://www.epa.gov/garbage/tires/fires.htm. Accessed July 31, 2008.
7. Earth-Link Website. http://www.earth-link.com.hk/tire3.htm. Accessed July 28, 2008.
8. Eldin, N.N., and A.B. Senouci. Observations on Rubberized Concrete Behavior, Cement, Concrete and Aggregates, Vol. 15, No. 1, June 1992, pp. 25-31.

9. Fedroff, D., A. Shuaib, and S.Z. Savas, Mechanical Properties of Concrete with Ground Waste Tire Rubber, Transportation Research Record 1532, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1996, pp. 66-72.
10. Humphrey, D.N. Civil Engineering Applications Using Tire Derived Aggregate (TDA), CIWMB, Sacramento, 2003.
11. IT Corporation. Civil Engineering Application of TDA Dixon Landing Road On-Ramp Highway 880, Milpitas, California, June 2007.
12. Kaloush, K.E., G.B. Way, and H. Zhu, Properties of Crumb Rubber Concrete, In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1914, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2005, pp. 8-14.
13. Kennec, Inc. Tire Derived Aggregate as Embankment Fill, Dixon Landing South I-880, Milpitas, CA. http://www.usetda.com/page.php?id=18. Accessed July 30, 2008.
14. Kennec, Inc. Using Tire Derived Aggregate for Slope Stabilization. http://usetda.com/page.php?id=2&ic=8. Accessed July 30, 2008.
15. Kennec, Inc. Project Manual and Specifications, Marina Drive Slide Repair, CR 266 at M.P. 0.63, Mendocino County, California, June 2007.
16. Kennec, Inc. Tire Derived Aggregate as Retaining Wall Backfill, Wall 119, Riverside, CA, http://www.usetda.com/page.php?id=12. Accessed July 20, 2008.
17. Humphrey, D.N. and M. Swett. Literature Review of the Water Quality Effects of Tire Derived Aggregate and Rubber Modified Asphalt Pavement. Report for U.S. EPA, November 2006.
18. Liu, H.S., J.L. Mead, and R.S. Stacer. Environmental Impacts of Recycled Rubber in Light Fill Applications: Summary and Evaluation of Existing Literature. Chelsea Center for Recycling and Economic Development, University of Massachusetts, Technical Report #2, August 1998.
19. Schimizze, R.R., J.K. Nelson, S.N. Amirkhanian, and J.A. Murden, Use of Waste Rubber in Light-Duty Concrete Pavements, Proceedings of the ASCE 3rd Materials Engineering Conference, Infrastructure: New Materials and Methods of Repair, 1994, pp. 367–374.
20. Rubber Manufacture Association. The Prevention & Management of Scrap Tire Fires. April 2003.
21. Rubber Manufacture Association. Scrap Tire Market in the United States. November 2006.
22. Rubber Pavement Association. Asphalt-Rubber 101, El Paso, TX, July 2008.
23. Tantala, M.W., J.A. Lepore, and I Zandi, Quasi-Elastic Behavior of Rubber Included Concrete (RIC) Using Waste Rubber Tires. http://www.seas.upenn.edu/~lepore/pwrptfiles/. Accessed May 17 2002.
24. Tire Derived Aggregate as Embankment Fill, KENNEC, Inc. Website. http://www.usetda.com/page.php?id=18. Accessed July 30, 2008.

25. Tweedie, J.J., D.N. Humphrey, and T.C. Sanford, Full-Scale Field Trials of Tire Shreds as Lightweight Retaining Wall Backfill Under At-Rest Conditions, Transportation Research Record 1619, Washington D.C., 1998, pp. 64-71.

Anexo A

Presentación de Muestra para Profesionales

(Ver el Volumen II del Informe Final para Detalles)

Anexo B

Presentaciones de Disertación del Programa Universitario

(Ver el Volumen II del Informe Final para Detalles)

Anexo C

Programa Universitario Disertaciones por Capítulo

(Ver el Volumen II del Informe Final para Detalles)

Anexo D

Presentación en la 4ª Conferencia de Hormigón Asfáltico Modificado con Caucho

(Ver el Volumen II del Informe Final para Detalles)

Anexo E

Formulario de Evaluación del Taller de Muestra

(Ver el Volumen II del Informe Final para Detalles)

Formación Continua y Programa Universitario Sobre Aplicaciones RAC y CE de Neumáticos de Desechos

Informe Final

Número de Informe: CP2C- 2009 – 101

Volumen II

(Anexos)

Mayo 15, 2009

California Pavement Preservation Center
(Centro de Preservación del Pavimento de California)
25 Main Street, Suite 202
California State University
Chico, California 98929-0930
(530) 898-5981

PÁGINA RESUMEN DEL PROYECTO	Informe Técnico: 2009 – 101
Título: Formación Continua y Programa Universitario Sobre Aplicaciones RAC y CE de Neumáticos de Desechos	
Autores: Ding Cheng, R. Gary Hicks y Joel Arthur	
Preparado Por: Consejo de Gestión de Residuos California Integrated Waste Management Board (CIWMB, por sus Siglas en Inglés)	Número de Referencia del Cliente:
Preparado por: CP2 Center	Fecha: 15-5-2009

Resumen:

Este es el segundo volumen del informe final sobre el proyecto educativo de CIWMB. En este volumen se incluyen los siguientes anexos:

Anexo A: Presentación de muestra sobre hormigón asfáltico engomado y aplicaciones de agregados derivados de neumáticos en ingeniería civil

Anexo B: Presentaciones del programa universitario para el uso de productos de neumáticos de desecho en ingeniería civil y del transporte

Anexo C: Los capítulos de disertación son un suplemento para el programa universitario

Anexo D: Presentaciones realizadas en la 4ª conferencia sobre asfalto engomado Rubber Modified Asphalt Conference

Anexo E: Formulario de evaluación del taller de muestra

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a CIWMB por aportar financiación para este importante y significativo proyecto. También deseamos extender nuestra gratitud a Albert Johnson, Bob Fujii, Nate Gauff y Stacey Patenaude, quienes entregaron su apoyo permanente a este proyecto.

EXENCIÓN DE RESPONSABILIDAD

Los contenidos de este informe reflejan las opiniones de los autores que son responsables de los hechos y exactitud de los datos aquí contenidos. El contenido no refleja necesariamente la visión o política oficial del California Integrated Waste Management Board (CIWMB) o del Estado de California.

ÍNDICE DE CONTENIDOS DE LOS ANEXOS

A Presentación de **M**uestra para **p**rofesionales **1**

B Presentaciones de **D**isertación del **P**rograma **U**niversitario **28**

C Programa **U**niversitario Disertaciones por **C**apítulo..... **155**

Módulo 1 CIVIL 131 Introducción al Diseño de Ingeniería Civil **156**

Módulo 2 CIVIL 311 Resistencia de los Materiales **167**

Módulo 3 CIVIL 312 Pruebas Estructurales de Laboratorio **179**

Módulo 4-1 CIVIL 402 Contratos y Especificaciones Sobre RAC (Hormigón Asfáltico Engomado) **203**

Módulo 4-2 CIVIL 402 Contratos y Especificaciones de Normas ASTM **210**

Módulo 5 CIVIL 411 Mecánica del Suelo **230**

Módulo 6 CIVIL 415 Hormigón Reforzado **243**

Módulo 7 CIVIL 431 Ingeniería Medioambiental..... **269**

Módulo 8 CIVIL 441 Ingeniería de Transportes..... **276**

Módulo 9 CIVIL 551 Ingeniería de Cimientos **284**

Módulo 10 CIVIL 575 Gestión de Residuos Sólidos **311**

Módulo 11 CIVIL 598 Materiales para Pavimentación con Asfalto **317**

D Presentación en la 4ª Conferencia de Hormigón Asfáltico Engomado **323**

E Formulario de Evaluación del Taller de Muestra..... **332**

Anexo A

Presentación de Muestra para Profesionales

USO ASFÁLTICO ENGOMADO EN PAVIMENTOS

Transferencia de Tecnología RHMA 101

Presentado por

R. Gary Hicks Ph.D., P.E. del CP2 Center

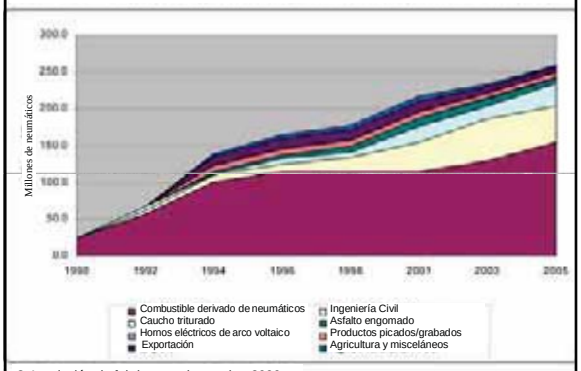
17 de abril 2009

TEMAS DE LA PRESENTACIÓN

1. ASFALTO ENGOMADO RHMA "101"
2. HISTORIA DEL ASFALTO ENGOMADO
3. APLICACIONES DE RHMA
4. DIRECTRICES DE USO PARA RHMA
5. BENEFICIOS Y LIMITACIONES
6. IMPLEMENTACIÓN

2

Tendencias de mercado para neumático triturado en EE.UU., 1990-2005



© Asociación de fabricantes de caucho, 2006.

¿QUÉ ES EL ASFALTO ENGOMADO? Sección 1

AR 101

ASFALTO CON ENGOMADO (AC) ASTM D8

Una mezcla de cemento asfáltico, caucho de neumático recuperado y algunos aditivitos en la que el componente de caucho supone al menos el 15% del peso de la mezcla total y ha reaccionado en el cemento asfáltico caliente lo suficiente para que las partículas de caucho se hinchen.

NORMAS APLICABLE: ASTM D 6114

Especificación Estándar para Aglomerante para Asfalto Engomado.

Un material de alta viscosidad que normalmente requiere agitación para mantener dispersas las partículas de CRM.

4

Tipos de caucho para asfalto 1

AR 101

PROCESO HÚMEDO con agitación

Añadir caucho granulado al asfalto; la mezcla y reacción requiere agitación

PROCESO Húmedo sin Agitación

Añadir caucho fino normalmente menor a <#30 al asfalto en la mezcla terminal, generalmente requiere poca o ninguna agitación. Se suele llamar mezcla terminal

PROCESO SECO

Usar el CRM como sustituto del 1-3% del Agregado y mezclar directamente el neumático triturado con el agregado usado para el hormigón asfáltico.

5

PROCESO HÚMEDO con Agitación 1

AR 101

- Método de modificar el cemento asfáltico con CRM y otros componentes
- Usado principalmente en los estados de California, Arizona, Florida y Texas
- Contiene 18-22% de caucho triturada, aunque las especificaciones varían según la agencia
- El tamaño de las partículas varia entre los tamaños superiores #8 a #10
- Tipo 1 Cemento asfáltico y caucho de neumático (Arizona, Florida y Texas)
- Tipo 2 Asfalto, caucho de neumático, CRM natural alto + aceite para extender (CA)

6

Proceso Húmedo con Agitación

1

AR 101

- Mezclar concienzudamente el CRM y los otros componentes con cemento asfáltico caliente (400-425°F)
- Interactuar a 350-375°F por un periodo de tiempo determinado (normalmente un mínimo de 45-60 minutos)
- Las partículas de CRM se hinchan e intercambian aceites con el AC
- La viscosidad rotatoria es un discriminador para el uso apropiado

7

Proceso Húmedo sin Agitación

1

AR 101

- Contiene por lo menos <5%-15 % de caucho triturado
- El tamaño de las partículas varia entre los tamaños superiores de malla 40 a 80
- También contiene polímeros
- Se usa en Arizona, Florida, Texas y California
- Se suele llamar mezcla terminal

8

Proceso Húmedo: Agitación Versus sin Agitación

1

AR 101

9

Proceso Seco

1

AR 101

- El CRM sustituye del 1 al 3% de agregado en la mezcla caliente
- No considerado para modificar el aglomerante, aunque puede ocurrir alguna interacción con CRM con el tiempo (absorbe fracciones de luz)
- Las gradaciones de CRM van desde gruesa (-1/4") a fina (-#80)

10

Aglomerante para Caucho Asfáltico

1

AR 101

COMPONENTES

- Caucho Triturado (incluyendo HNR)
- Cemento Asfáltico
- Aditivos
- Mezclado para satisfacer especificaciones concretas

11

Modificador de caucho triturado (CRM)

1

AR 101

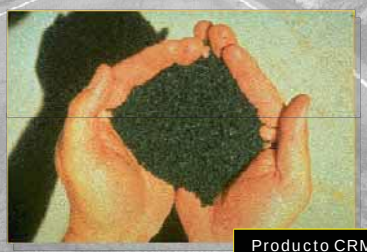
Se produce al desmenuzar completamente los neumáticos de desecho, tiras de pulido y otros productos de caucho usados. El caucho triturado tiene una variedad de grados y nombres presentados por el tamaño de partícula y/o su fuente.

12

CRM Usado para Proceso Húmedo

1

AR 101



Producto CRM

13

Cementos Asfálticos

1

AR 101

Vienen en un surtido de grados

Normalmente se usan aglomerantes más suaves para RHMA que para la mezcla convencional en caliente.

	PG 64-10
Climas calurosos	PG 64-16 (AR-4000)
Climas templados	PG 58-22 (AR-4000)
Climas fríos	PG 52-28 (AR-2000)

14

Aditivos

1

AR 101

Usado en conjunto con CRM para potenciar la interacción y producir las propiedades deseadas

- Aceites extendedores
- Agentes promotores de adhesión
- Caucho natural alto (HNR)
- Polímeros, normalmente limitada a procesos sin agitación

15

Las interacciones dependen de

1

AR 101

1. Fuente y gradación del cemento asfáltico
2. Tipo/fuente del caucho
3. Cantidad de caucho
4. Gradación de caucho
5. Tiempo de interacción
6. Temperatura de interacción

16

Ventajas del aglomerante AR de alta viscosidad

1

AR 101

- Permite un mayor contenido de aglomerante y una película de mayor espesor que produce un aumento de la durabilidad (resistencia a la humedad y a la obsolescencia)
- Mejora la contención del agregado
- Minimiza los problemas de drenaje descendente
- Mejora la resistencia a la fatiga y el agrietamiento reflectante
- Aumenta la resistencia a la elusión, limpieza con agua y deformación

17

HISTORIA DEL ASFALTO CAUCHUTADO Sección

2

Historia del uso de AR

- Se usa desde la década de 1960
- Usada en sellado con gravilla, inter-láminas y HMA
- Se usan extensamente en Arizona, Florida, Texas y California
- Ahora hay guías de diseño y construcción disponibles elaboradas por algunos organismos

18

Proyecto Ravendale

2

Historia del uso de AR

El primer proyecto en California que usó RHMA de espesor reducido si se lo comparaba con el espesor del diseño AC convencional

Secciones de prueba de diferentes espesores de RHMA, proceso seco y mezcla convencional AC

Desempeño monitoreado Po casi 20 años

19

Diseño de espesor reducido de CALTRANS

2

Historia del uso de AR

- CALTRANS desarrolló unas normas provisionales en 1992
- En base a datos de laboratorio o sobre el terreno a largo plazo (dos décadas)
- Apoyado por esfuerzos de investigación

20

Diseño de revestimientos RHMA

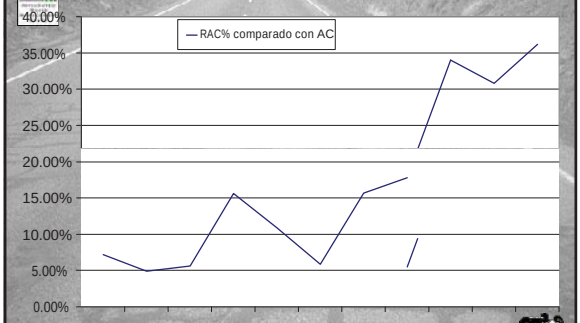
2

Historia del uso de AR

- Usa un método de diseño basado en la desviación
- Hasta un 50% de reducción de espesor comparado al diseño de espesor convencional AC
- Más de 200 proyectos de espesor reducido

21

Uso de RHMA (% de AC utilizado) por Caltrans



22

Hallazgos

2

Historia del uso de AR

El espesor de las mezclas de caucho RHMA puede reducirse por un factor de 2 y seguir ofreciendo el mismo desempeño de resistencia a el agrietamiento reflectante

En 1992 se incorporó por primera vez el espesor reducido en el proceso de diseño de Caltrans

Se adoptó en un manual de rehabilitación en 2002

23

Aplicaciones AR

3

Historia del uso de AR

ASFALTO ENGOMADO

APLICACIONES DE SPRAY

- Sello con gravilla
- Ínter láminas AR

ASFALTO DE MEZCLA CALIENTE

- HMA de granulometría densa (RHMA-D) (Solamente con método sin agitación)
- HMA de granulometría discontinua (RHMA-G)
- HMA de granulometría abierta (RHMA-O)
- HMA de granulometría abierta con aglomerante alto (RHMA-O-HB)

24

Hormigón Asfáltico Engomado RHMA

3

Aplicaciones AR

La alta viscosidad del aglomerante AR es más efectivo en mezclas de granulometría discontinua y abierta usadas en los 60 mm superiores deL pavimento

Para resistir el agrietamiento reflectante, Caltrans redujo el espesor para las ínter láminas de RHMA de granulometría abierta en pavimentos estructuralmente sólidos

25

Asfalto de Mezcla Caliente HMA

3

Aplicaciones AR

USOS

MEZCLAS DE GRANULOMETRÍA DISCONTINUA RHMA-G

MEZCLAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA RHMA-O

MEZCLAS DE GRANULOMETRÍA DENSA RHMA-D

RHMA-D Solo con aglomerantes sin agitación

Se usan principalmente en Arizona, Florida, Texas y California

El espesor reducido solo se usa en California

26

Comparación de Gradación de Agregados

3

RHMA Aplicaciones

Granulometría Abierta

Granulometría Discontinua

Granulometría Densa

27

HMA de Granulometría Densa RHMA-D

3

RHMA Aplicaciones

USO TEMPRANO

Mejoras de desempeño limitadas en comparación con el coste

Espacio vacío no adecuado para acomodar suficiente aglomerante AR para modificar el comportamiento

Se interrumpió el uso con aglomerante de alta viscosidad

28

Mezclas de Granulometría Discontinua RHMA-G

Actualmente la mezcla de distribución en California, normalmente se usa con espesores de 30 a 60 mm

La reducción del espesor está permitida cuando se usa esta mezcla

29

MEZCLAS CALIENTES RHMA-O

3

RHMA Aplicaciones

Granulometría Abierta

Usada ampliamente en California como superficie de caminos

Drenaje libre con salpicaduras y rociado reducidos

No añade valor estructural

30

MEZCLAS CALIENTES RHMA-O-HB 3

RHMA
Aplicaciones

Aglomerante alto de Granulometría Abierta

Usada ampliamente en Arizona como superficie de caminos

También se usa en Caltrans como superficie de caminos

No tiene drenaje tan libre, pero si mayor durabilidad

31

DIRECTRICES PARA USO DE AR Sección 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

- A DISEÑO
- B PRODUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO
- C CONSTRUCCIÓN
- D MUESTREO Y EXPERIMENTACIÓN

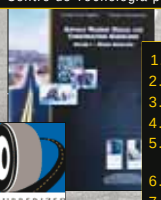
32

Contenidos de la guía de diseño Diseño 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

Centro de Tecnología para el Hormigón Asfáltico Engomado (RACTC)

www.rubberizedasphalt.com



1. Introducción
2. Asfalto Cauchutado
3. Consideraciones del diseño AR
4. Problemas materiales AR
5. Problemas de construcción con HMA y tratamientos con gravilla de AR
6. Reunión pre-construcción
7. Consideraciones medioambientales
8. Desarrollo actual/futuro
9. Referencias

33

Guía de diseño de Caltrans Diseño 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

1. Introducción
2. Diseño, selección y uso del producto asfalto engomado
3. Producción de aglomerantes y mezclas de AR
4. Guías de construcción e inspección
5. Referencias

www.dot.ca.gov/

34

¿Dónde y por qué se usa? 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

1. Reemplaza las mezclas convencionales donde la temperatura del pavimento y las distancias de desplazamiento son favorables
2. Más resistente al agrietamiento y fatiga

Especialmente al agrietamiento reflectante

35

Consideraciones del diseño AR Diseño 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

1. Diseño del Aglomerante
2. DISEÑO ESTRUCTURAL

36

Perfil de Mezcla Asfáltico Engomado

Diseño 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

Desarrollado para evaluar la compatibilidad entre los distintos materiales utilizados

Revisión de estabilidad de la mezcla en el tiempo

Debería requerirse en cada proyecto

37

Diseño del Aglomerante

Diseño 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

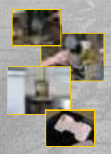
	PRUEBA	MINUTOS DE REACCIÓN 45	90	240	360	1,440	Limites de Especificaciones @ 45 Minutos (CALTRANS 12/2005)
ASFALTO	DE VISCOSIDAD, CP HAAKE@ 190C	2400	2800	2800	2800	2100	1500 - 4000
CAUCHUTADO	ELASTICIDAD@ 25C (% REBOTE)	27	--	33	--	23	18 Mínimo
	Punto de ablandamiento de R y B, °C (ASTM D36)	59.0	59.5	59.5	60.0	58.5	52 - 74
	LÁPIZ DE PROYECCIÓN @ 25C (ASTM D217)	39	--	46	--	50	25 – 70

38

Pruebas Asfáltico Engomado

Diseño 4

DIRECTRICES PARA USO RAC



PENETRACIÓN DE CONO

ELASTICIDAD

PUNTO DE ABLANDAMIENTO R y B

VISCOSIDAD SOBRE EL TERRENO

39

Penetración de Cono

Diseño 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

ASTM D 217

40

Elasticidad

Diseño 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

ASTM D 5329

Antes ASTM D 3407

41

Punto de Ablandamiento R y B

Diseño 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

ASTM D 36

42

Viscosidad Sobre el Terreno

Diseño 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

43

Estructura del Pavimento

Diseño 4

Cuando RHMA-G se usa como material interlaminar

- Diseñado por espesor convencional HMA
- Determinar el espesor de revestimiento RHMA-G de acuerdo a FPRM
- El espesor del revestimiento RHMA-G suele ser la mitad del espesor de revestimiento con HMA

Pavimentos nuevos

- Caltrans no reduce el espesor para el uso de RHMA en la construcción de pavimento nuevo

44

Producción de aglomerante AR

4

DIRECTRICES PARA USO RAC

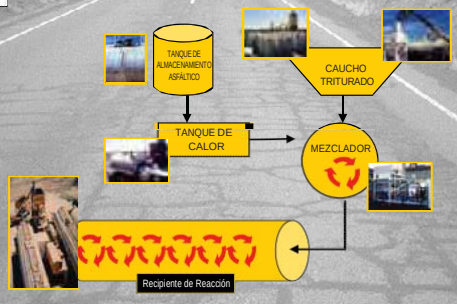
1. Panorama general del proceso
2. Problemas de recalentamiento y contención
3. Documentación
4. Exigencias de muestreo y experimentación

45

Esquema de la Mezcla AR

Producción 4

DIRECTRICES PARA USO RAC



46

Proceso de AGLOMERANTE AR

Producción 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

47

Proceso de Aglomerante AR

Producción 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

48

Problemas de Precalentamiento y Contención 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

Organización de la Producción

Especificaciones de Caltrans

1. El calentamiento debe interrumpirse durante 4 horas después de 45 minutos de reacción
2. Se permiten dos ciclos de recalentamiento
3. Cumplimiento de las especificaciones
4. Restaurar la viscosidad

Documentación

Certificado de cumplimiento
Diseño de aglomerante AR
Registro de producción de aglomerante AR

49

Usos para los Aglomerantes de Alta Viscosidad de Mezcla Caliente

AUMENTA EL COSTE ASÍ QUE DEBE USARSE DONDE SEA MÁS EFECTIVO

1. Es más efectivo en mezclas de granulometría abierta y de granulometría discontinua
2. Más efectivo en levantamientos superficiales relativamente finos (máx. 60 mm)
3. La granulometría discontinua se usa como capa estructural, equivalente a DG
4. La granulometría abierta se usa como trayectoria de fricción superficial
5. Mayor resistencia a surcos, fatiga y agrietamiento por reflexión como función del contenido del aglomerante
6. No adecuado para DGAC

50

Mezclas calientes AR — Producción 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

RHMA - G

- Similitudes con DGAC convencional
- Producción de la mezcla
- Importancia de la temperatura
- Requisitos de muestreo y experimentación
- Construcción

51

Buenas prácticas con AR — Construcción 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

1. Igual a DGAC
2.
3. Inspección

Resolución de problemas

Humo de
Segregación
Apariencia

Buenas prácticas

Entrega de la Producción
Colocación y Compactación

52

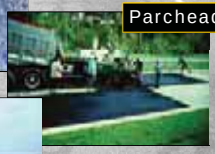
Preparación para Pavimento — Construcción 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

Sellado de Grietas

El mínimo exceso de aplicación se transmitirá por el revestimiento y producirá montículos asfálticos

Parcheado

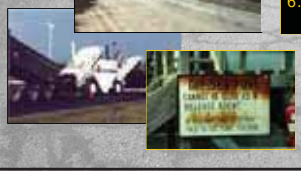


Revestimiento de Adherencia

53

Entrega de Equipo AR — Construcción 4

DIRECTRICES PARA USO RAC



ELEMENTOS A BUSCAR

1. Agentes de liberación
2. Producción en planta
3. Entrega de mezcla
4. Colocación
5. Compactación
6. Producción equilibrada

54

Colocación AR

Construcción 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

Mínimo Trabajo Manual y Rastrillado

55

Compactado de la Mezcla Caliente

Construcción 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

1. Buenas prácticas
2. Requisitos de temperatura
3. Factores que afectan la compactación
4. Tiras de ensayo y patrones de apisonamiento
5. Acabado

56

Factores que Afectan la Compactación

Construcción 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

Para todas las mezclas AC y RHMA:

1. Espesor del levantamiento
2. Temperatura del aire
3. Temperatura de pavimento/base
4. Temperatura de mezcla
5. Velocidad del viento
6. Luz solar o falta de la misma

57

MUESTREO Y EXPERIMENTACIÓN

Construcción 4

DIRECTRICES PARA USO RAC

PRÁCTICAS ESTÁNDAR PARA HMA

REQUISITOS DE EXPERIMENTACIÓN QC
- Pruebas
- Frecuencia

REQUISITOS DE EXPERIMENTACIÓN QA
- Pruebas
- Frecuencia

VISCOSIDAD DEL CONTENIDO DE AGLOMERANTE
- Prueba sobre el terreno todo o nada GO NO-GO

58

Beneficios AR

5

BENEFICIOS

- Durabilidad mejorada como capa superficial
- Resistencia al agrietamiento por fatiga
- Resistencia al agrietamiento por reflexión
- Resistencia a la obsolescencia
- Puede usarse con espesor reducido
- Reduce el ruido
- Menores costes de ciclo de vida
- Medioambiental

59

Desempeño Mejorado

5

BENEFICIOS

Resistencia al agrietamiento

Durabilidad, resistencia a la obsolescencia

60

Mayor Resistencia al Agrietamiento

5

BENEFICIOS

8" pulgadas de revestimiento convencional después de doce años de desempeño

5" de revestimiento asfáltico engomado después de doce años de desempeño

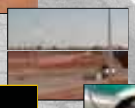
61

Reducción del Ruido

5

BENEFICIOS

IMPORTANTE EN AMBIENTES URBANOS



Métodos de Medir el Ruido

Borde de la carretera
Cercanía
Intensidad del ruido

62

¿Cómo se controla el ruido ?

5

BENEFICIOS

En la Fuente

Emisiones de vehículos y neumáticos

Mediante la Distancia

Reducción de 3 dBA cada vez que se duplica la distancia: 25ft=70dBA, 50ft=67dBA, 100 ft=64 dBA

Mediante Obstáculos

Arcenes, muros y una combinación de ambos

63

Niveles de Ruido por

5

BENEFICIOS

TIPO DE SUPERFICIE – MEDICIÓN CPX

104.9	Transversal aleatorio (Método Wisconsin)
102.5	Transversal uniforme (Método ADOT a ¾")
99.1	Longitudinal (Método ADOT a ¾")
95.5	Rechinado de susurro (método de la industria)
91.8	ARFC (Método ADOT)

64

Estudio LCCA de Hicks and Epps

5

BENEFICIOS

- Establecer estrategias de análisis periódico
- Establecer cronograma de actividad M&R
- Costes estimados de agencia
- Costes estimados para usuarios y no usuarios
- Desarrollar flujos de gastos
- Presencia de red informática, valor actual
- Analizar resultados

65

Enfoque Determinístico de Resultados LCCA

5

BENEFICIOS

Escenario	Valor actual ($/yarda)	
Preservación de sellado con gravilla		
• Convencional	18.39	
• AR	15.87	2.25
Preservación HMA fina		
• Convencional	20.69	
• AR	17.33	3.36
Capa estructural		
• Convencional	21.97	
• AR	14.63	7.34

66

Modelo Probabilística de Resultados LCCA

5

BENEFICIOS

Escenario	% de veces que se produjeron ahorros
Preservación de sellado con gravilla	86
Preservación HMA delgada	82
Capa Estructural	86

67

Beneficios Medioambientales

5

BENEFICIOS

1. Reduce los problemas de vertederos
2. Montones de neumáticos
3. Productos de valor añadido
4. Reciclaje de residuos
5. Disminución de ruidos

Relleno de neumáticos linear

68

Limitaciones de RAC

5

LIMITACIONES

- Los costes iniciales más altos deben compensarse por un mayor rendimiento
- No apto para rastrillado
- Temperaturas más altas para colocación y compactación
- Problemas medioambientales: problemas de calidad de aire y olores
- Conocimiento de usuarios y buenas prácticas HMA

69

Consideraciones de Costo

5

LIMITACIONES

MEZCLA CALIENTE

puede ser más barata con el precio de petróleo alto

Compensación si se usa en capas finas

Compensación por mayor vida de servicio

70

Consideraciones de Construcción

5

LIMITACIONES

El control de la temperatura es lo más importante

El trabajo manual es más difícil

El material es más pegajoso

Tiempo frío o húmedo
Mucho trabajo manual
Larga distancia
Consideraciones de temperatura

71

Climáticas

5

LIMITACIONES

Pavimento para clima frío

Pavimentación Nocturna

72

Problemas Medioambientales

5

LIMITACIONES

MEDIOAMBIENTAL: CALIDAD DEL AIRE

Problemas de humo en algunas zonas de CA

Pueden controlarse

SALUD Y SEGURIDAD

No hay aumento de riesgos según numerosos estudios

RECICLADO DE MEZCLAS AR

Uniformidad del montón, por HMA convencional

No hay indicación de problemas con la calidad del aire

73

¿Preguntas frecuentes?

5

LIMITACIONES

1. ¿Es el uso de AR técnicamente seguro y económico? — SI
2. ¿Se puede usar AR en climas fríos? — YES
3. ¿Se puede usar AR rehabilitado y/o reciclado? — SI
4. ¿Por qué no se usa más masivamente el AR por otras agencias? — Educación

74

Implementación

6

IMPLEMENTACIÓN

- Educar a los usuarios
- Beneficios de AR
- Identificar los mejores lugares para usar AR
- Entender las Limitaciones
- Éxitos y no fracasos

75

Conclusiones

6

- Las AR se han usado desde la década de 1960 en sellados con gravilla y revestimientos finos de mezcla caliente
- Ahora se dispone de guías y construcción con AR
- AR ha demostrado ser un tratamiento económico para el mantenimiento y reparación de pavimentos
- A pesar de sus muchos éxitos, su uso sigue limitado a algunos estados

76

Conclusiones

6

- Se requieren buenas prácticas estándar y comprensión de los materiales para el diseño, producción y construcción de pavimentos con AC y RHMA.
- AR es un tratamiento económico para mantenimiento y reparación de pavimento

77

Información de contacto en la página siguiente

78

¿Preguntas?
El Principio
Mantener los caminos en buen estado con materiales asfáltico para pavimentación
R. Gary Hicks
rghicks@csuchico.edu
http://www.cp2info.org/center
79

Proyectos seleccionados en California de aplicaciones de ingeniería civil con agregados derivados de neumáticos (TDA)

Proyectos seleccionados en California de aplicaciones de ingeniería civil con agregados derivados de neumáticos (TDA)
Presentado por California State University, centro de preservación de pavimento de California

Presentado Por:

KENNEC, INC

Joaquin Wright, Director

Resumen de la Presentación TDA del Pavement Preservation Center,

17 de abril 2009

- Propiedades beneficiosas de los TDA
- Gestión de aspectos de la construcción de edificios con TDA
- Proyectos de cementación
- Proyectos de reparación de superficies resbaladizas
- Proyectos de relleno para muros de contención
- Proyectos de atenuación de vibraciones
- Proyectos de relleno para muros de contención
- Aplicaciones de vertedero

KENNEC, INC

Propiedades beneficiosas del Agregado Derivado de Neumáticos (TDA) en Aplicaciones de Ingeniería Civil

Los agregados derivados de neumáticos (TDA) tienen propiedades que necesitan los ingenieros civiles, directores de obras públicas y contratistas.

- Peso ligero
- Drenaje Libre/Alta Permeabilidad
- Presión de terreno baja
- Baja presión lateral
- Duradero
- Comprimible
- Puede ser la solución más barata

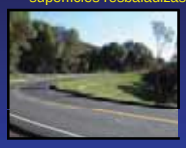
Ayuda a resolver problemas medioambientales importantes

Conserva los recursos naturales del agregado

KENNEC, INC

Usos de los Agregados Derivados de Neumáticos (TDA)

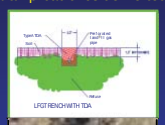
- Relleno Ligero para Cementación
- TDA ligero para reparación de superficies resbaladizas



KENNEC, INC

Usos de los Agregados Derivados de Neumáticos (TDA)

- TDA Ligero para Muros de Contención
- TDA para Aplicaciones de Vertedero

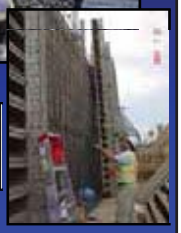


- TDA para atenuación de vibraciones

KENNEC, INC

Aspectos CM para proyectos con TDA

- Pre-Construcción
- Construcción



KENNEC, INC

Actividades de Pre-construcción

- Diseño y comprensión del proyecto en general
  - Desarrollar un entendimiento integral
    - Comunicación al equipo de las expectativas de diseño, construcción y manejo de construcción.
    - Métodos de entrega y precios
      - Calidad/verificación del material
      - Ubicación del montón
- Ayuda de las agencias regulatorias
  - Educación y comunicación
    - Consejo de aguas local
    - Departamento de bomberos local
    - Acuerdos entre agencias Caltrans/CIWMB

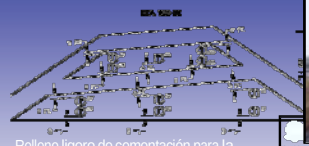
KENNEC, INC

Actividades de Construcción

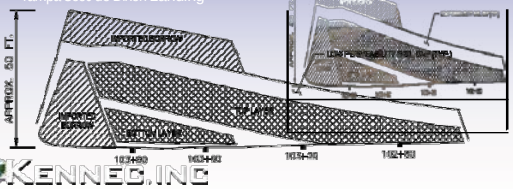
- Entendimiento de la Construcción
  - Comunicación con el equipo en reunión inicial, construcción con TDA, cuando, donde y expectativas del equipo.
  - Técnicas de colocación
    - Precios de entrega, número de proveedores
    - q/a del material
    - Cambios ventajosos en las técnicas
    - Documentación del trabajo
- Conforme a obra
  - Documentación de cambios
    - Métodos de recuperación y verificación de datos
    - Planos de ubicación de TDA, sensores, etc. trabajo a futuro

KENNEC, INC

Aplicación de relleno de cementación para Dixon Landing



Relleno ligero de cementación para la rampa S880 de Dixon Landing



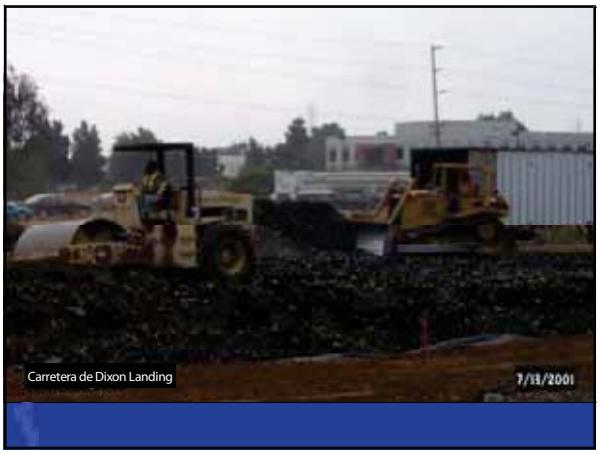
KENNEC, INC

Relleno de cementación de Dixon Landing

KENNEC, INC

Carretera de Dixon Landing
7/27/2001

Carretera de Dixon Landing
7/27/2001


Carretera de Dixon Landing

Carretera de Dixon Landing

660.000 Neumáticos

Ahorros para el estado $240,000

Proyecto de Cementación de Confusion Hill

KENNEC, INC

Proyecto de relleno de Confusion Hill

KENNEC, INC

Alineación existente en Confusion hill

KENNEC, INC

Puentes de Confusion Hill

KENNEC, INC

Relleno de Cementación con TDA en Confusion Hill

KENNEC, INC

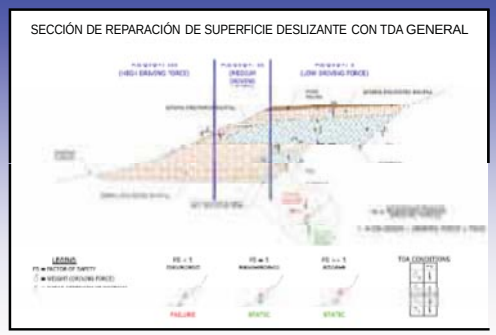
Relleno de TDA ligero para "Escapes"

Relleno ligero para "Escape" de Reparación de Superficie Deslizante en Carreteras de los Condados de Mendocino y Sonoma

KENNEC, INC

Vista general de la reparación de zonas resbalosas con TDA

SECCIÓN DE REPARACIÓN DE SUPERFICIE DESLIZANTE CON TDA GENERAL



KENNEC, INC

Reparación de superficie deslizante en Marina Drive

KENNEC, INC

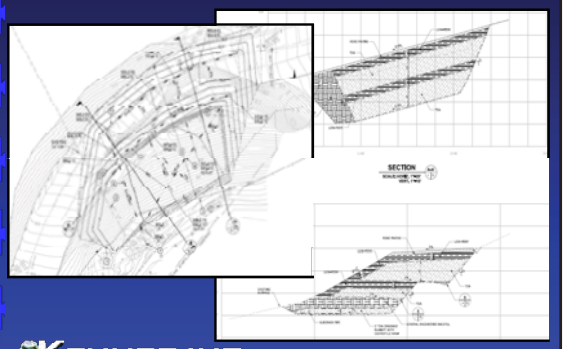
Reparación de superficie deslizante en Marina Drive

KENNEC, INC

Reparación de superficie deslizante en carretera Gaysers

KENNEC, INC

Reparación de superficie deslizante en carretera Gaysers



KENNEC, INC

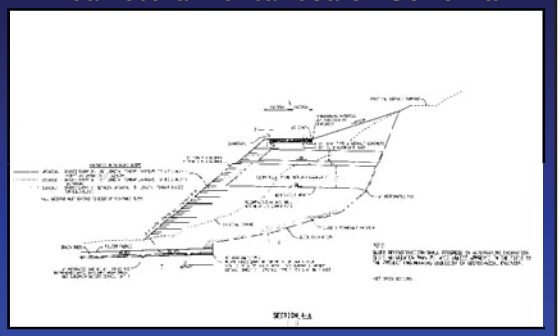
Reparación de superficie deslizante en carretera Gaysers

KENNEC, INC

Reparación de superficie deslizante en carretera Gaysers

KENNEC, INC

Reparación de superficie deslizante en carretera montañosa en Sonoma



KENNEC, INC

Reparación de superficie deslizante en carretera montañosa en Sonoma

KENNEC, INC

Reparación de superficie deslizante en carretera montañosa en Sonoma

KENNEC, INC

Reparación de superficie deslizante en carretera montañosa en Sonoma

KENNEC, INC

Reparación de superficie deslizante en carretera montañosa en Sonoma

KENNEC, INC

Reparación de superficie deslizante en carretera montañosa en Sonoma

KENNEC, INC

Reparación de superficie deslizante en carretera montañosa en Sonoma

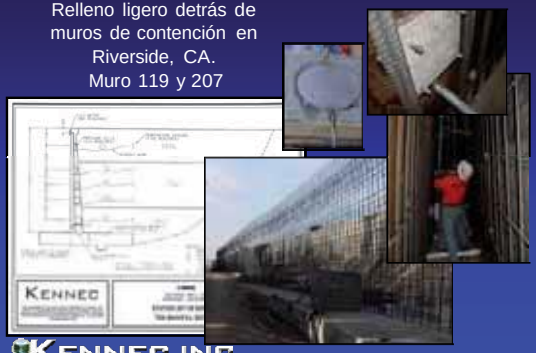
KENNEC, INC

Relleno ligero detrás de los muros de contención

KENNEC, INC

Aplicación ligera en muro 119 y 207

Relleno ligero detrás de muros de contención en Riverside, CA.
Muro 119 y 207



KENNEC, INC

Muro 119, Riverside, CA

Corte tangencial de pendiente antes de la instalación de los cimientos del muro de contención

KENNEC, INC

Muro 119, Riverside, CA

Cimientos del muro instalados: armazón de refuerzo bajo la construcción

Instalación de extensómetro

KENNEC, INC

Muro 119, Riverside, CA

Refuerzo de rectificación: Preparación para la instalación del extensómetro

Punto de soldadura del extensómetro al armazón de refuerzo

KENNEC, INC

Muro 119, Riverside, CA

Lugar de soldadura del extensómetro

Extensómetros instalados (típico)

KENNEC, INC

Muro 119, Riverside, CA

Instalación de cobertura del extensómetro

Coberturas instaladas y selladas

KENNEC, INC

Muro 119, Riverside, CA

instalado

Instalación con doble refuerzo (típico)

Muro 119, Riverside, CA

Descarga de TDA

Muro 119, Riverside, CA

Estación típica

Célula de presión instalada

Muro 119, Riverside, CA

Colocación de TDA

TDA colocados y compactados

construcción

Muro 119, Riverside, CA

Levantamiento final de TDA, nótese la envoltura geotextil en ambos lados de los TDA

Compactación de los TDA

Muro 119, Riverside, CA

Envoltura geotextil final

Muro 119, Riverside, CA

Entrega, colocación y compactación del suelo de cubierta

Muro 119, Riverside, CA

Instalación del suelo de cobertura completada, 2 pies

Típica sección de gravilla/suelo

Relleno para carretera

KENNEC, INC

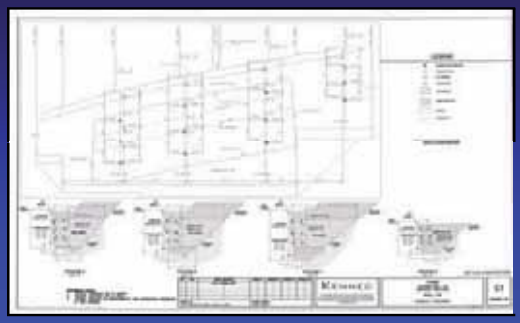
Muro 119, Riverside, CA

Muro 207, Riverside, CA

150.000
Neumáticos

Muro 119 y 207, Riverside, CA

Conforme a obra!



Atenuación de Vibración

KENNEC, INC

Tecnología de Mitigación de Vibración Convencional
$800 +/pie

KENNEC, INC

Mitigación de Vibración con
TDA $150/pie

Extensión de la Línea
Vasona de VTA, 2001

100.000 NEUMÁTICOS

KENNEC, INC

Uso de TDA en Vertederos

- Landfill Gas Pipe Protection
- Sistema Bio-Reactor para Vertederos
- Capas de drenaje en tierra
- Zanjas de extracción de gas en vertederos
- Alternativa de cubierta diaria e intermedia

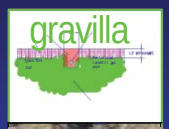
KENNEC, INC

¿Por qué usar TDA en sistemas de vertedero?

- Alta permeabilidad/drenaje libre
- Comprimible
- Peso ligero
- Ahorro en costos
- Reciclaje (100 neumáticos = 1,5 yardas cúbicas)

KENNEC, INC

Zanjas de recolección de gas en vertedero, reemplazar la gravilla con TDA de tipo A



- Tipo A para reemplazo de gravilla
- Taladro grande para pozos verticales
- Separador geo-textil entre los TDA y el suelo o material fino

LFG Construcción típica de zanjas con TDA

- Excavación típica y reubicación del desecho
- Equipo típico, vertedero final, excavador, pala cargadora articulada, monitor de aire

LFG Construcción típica de zanjas con TDA

- Retirar desechos/tierra, colocar lecho para tubo, colocar tubo, cubrir con TDA
- Separador geo-textil entre los TDA y el suelo o material fino

KENNEC, INC

LFG Construcción típica de zanjas con TDA

- Separador geo-textil entre los TDA y el suelo o material fino

KENNEC, INC

LFG Construcción Típica de Zanjas Con TDA

- Separador geo-textil entre los TDA y el suelo o material fino
- Reemplazar el material de cobertura, operaciones de relleno normales, extraer del sistema cuando corresponda

KENNEC, INC

¿Qué son los TDA de tipo A?

TDA de Tipo A –Típico, Tres pulgadas menos

- 1 Tonelada = 1,4 yardas cúbicas
- 1 Tonelada = 100 neumáticos (PTE)
- Densidad sobre el terreno = 45-58 libra/ft³
- Permeabilidad > 1 cm/seg para muchas aplicaciones

Usos –material de drenaje, campos de lixiviado séptico, capas anti-vibración bajo líneas férreas de tren ligero Medio de recolección de gas, material de recolección de lixiviado

Dana Humphrey, 2005

¿Qué es los TDA tipo B?

TDA Tipo B 12 pulgadas menos, típicamente,

- 1 Tonelada = 1,5 yardas cúbicas
- 1 Tonelada = 100 neumáticos (PTE)
- Densidad sobre el terreno = 45-50 kg/ft³
- Permeabilidad > 1 cm/seg para muchas aplicaciones

Usos – relleno ligero para cimentaciones, relleno ligero para muros de contención, medio de recolección de gas, material de recolección de lixiviado

Dana Humphrey, 2005

Tamaño de los TDA

Aplicaciones Civiles para los TDA

- Relleno Ligero para Cementación

- Relleno Ligero Posterior para Muros de Contención
- Relleno ligero para reparación de zonas deslizantes en caminos

- Atenuación de Vibración
- Aplicaciones de Vertedero

KENNEC, INC

¿Preguntas?

KENNEC, INC

Anexo B

Presentaciones de Disertación del Programa Universitario

¡El futuro se decide hoy!!

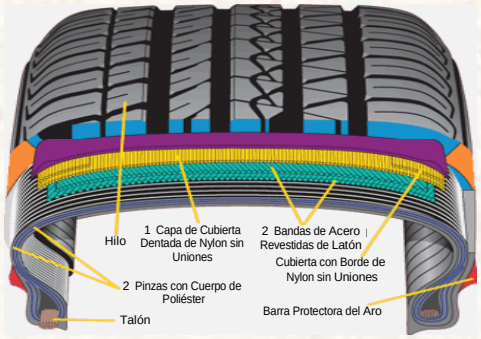
Aplicaciones de Productos de Neumáticos de Desecho en Ingeniería Civil

Introducción al Diseño de Ingeniería Civil,
California Southern University (CSU), Chico

Introducción

- Trasfondo
- Beneficios del Uso de TDA
- Aplicaciones de Ingeniería Civil
  - Material de Relleno Ligero
  - Relleno Posterior para Muro de Contención
  - Material Filtrante para Drenajes
  - Materiales Asfálticos con Caucho para Pavimentación
  - Otros
- Desafíos y Obstáculos
- Otros Cursos Relacionados con Aplicaciones de Neumáticos de Desecho

Composición de los Neumáticos



Problemas

Ya hay millones de neumáticos usados apilados en grandes montones:
tanto de forma legal...

Problemas

....como ilegal

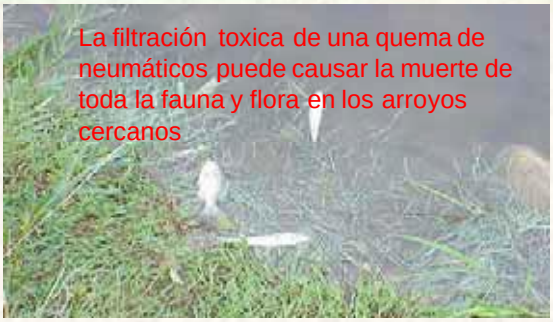
Problemas Medioambientales

Problemas Medioambientales

La quema de neumáticos libera metales pesados y otros componentes tóxicos que van a parar a arroyos y se filtran a los pozos superficiales

- Arsénico
- Cromo
- Plomo
- Manganeso
- Níquel
- Mercurio
- Cadmio
- Petróleo

Problemas Medioambientales



Uso de Neumáticos Usados en California

- Cada año se generan 40.2 millones de neumáticos reutilizables y de desecho y aproximadamente 1,5 millones de neumáticos usados se almacenan o tiran ilegalmente
- Las aplicaciones de CE de neumáticos de desecho en California incluyen:
  - Agregados Derivados de Neumáticos (TDA)
  - Asfalto Engomado de Mezcla Caliente (RHMA)
  - Otros

Proceso de Trituración de Neumáticos

Reciclaje de residuos de neumáticos ECOTIRE

Agregados Derivados de Neumáticos (TDA)

Beneficios de los TDA

- Los TDA posee propiedades que necesitan los ingenieros civiles:
  - Peso ligero
  - Baja presión lateral del terreno
  - Buen aislamiento térmico
  - Buen/a drenaje/conductividad hidráulica
  - Comprimible

Beneficios de los TDA

¡Se pueden usar muchos neumáticos!

- 75 neumáticos por C.Y. de relleno TDA
- 100 neumáticos por tonelada
- 2.000 neumáticos por milla de pista de pavimento asfáltico engomado
- 662.770 neumáticos para el Dixon Landing Embankment en Milpitas, CA
- 83.700 neumáticos para un muro de contención 119, de 300 pies en la ruta 91, California

Rango de Aplicaciones en ingeniería Civil

- Materiales Asfálticos con Caucho para Pavimentación
- Relleno ligero para cementación de carreteras
- Relleno para Muro de Contención
- Capa antivibración bajo las líneas férreas
- Capa aislante para limitar la penetración de escarcha en carreteras
- Vertedero y aplicación medioambiental

Beneficios del Hormigón Asfáltico Engomado

- Mejora la tracción
- Aumenta la durabilidad
- Reduce el ruido
- Reduce la vibración
- Reduce la necesidad de mantenimiento
- Reduce rociados/salpicaduras cuando llueve
- Usa virutas de residuos de neumáticos (2000 neumáticos de desecho por milla de pista)

Reducción del Ruido y la Vibración

Reducción del Efecto de Salpicado/rociado

Aplicaciones en ingeniería Civil en los Estados Unidos

- El uso de residuos de neumáticos de mayor crecimiento
- Aproximadamente 60 millones de neumáticos al año se usan en aplicaciones CE

Relleno ligero para cementación de carreteras

- Las tiras de neumático son factibles para esta aplicación debido a su poco peso.
- Para la mayoría de proyectos, el uso de tiras de neumático como material de relleno ligero es significativamente más barato que otras alternativas.
- Para la cementación de un carretera en Virginia se usaron 1.7 millones de neumáticos

Relleno para Muro de Contención

- El peso de las tiras de neumático permite la construcción de muros de contención más finos y baratos
- Los TDA pueden reducir los problemas causados por el agua y la formación de escarcha detrás del muro, porque tienen drenaje libre y son un buen aislante térmico.

Capa Antivibración Bajo las Líneas Férreas

Los TDA son una buena forma de reducir las vibraciones molestas producidas por el paso de los trenes

Capa Aislante para Limitar la Penetración de Escarcha en Calzadas

- Colocar una capa de tiras de neumático bajo una carretera puede evitar que el terreno bajo la superficie se congele
- Además, la alta permeabilidad de las tiras de neumático permite que el agua se drene bajo las carreteras, evitando así el daño a su superficie.

Vertedero y Aplicación Medioambiental

- Alternativa de cubierta diaria e intermedia
- Protección para tubería de gas en vertederos
- Capas de drenaje en cubiertas de vertederos
- Sistema de recolección y eliminación de lixiviado
- Zanjas d e extracción de gas en vertederos

Obstáculos para el uso de Materiales Reciclados: Aspectos de Ingeniería Civil

- Sus propiedades de ingeniería no han sido determinadas completamente
- Falta de datos de desempeño a largo plazo
- Falta de estándares o manuales de diseño
- Los ingenieros civiles son reacios al riesgo

Obstáculos para el Uso de Materiales Reciclados: Problemas Medioambientales

- Su composición química es compleja
- Se desconocen los efectos medioambientales a largo plazo
- La percepción del público: si son residuos ¡deben ser malos!
- Complicado proceso de aprobación de la normativa
- Los organismos de regulación medioambiental son reacios al riesgo

Obstáculos para el Uso de Materiales Reciclados: Problemas de Construcción

- Pueden necesitarse nuevos procedimientos y equipos
- Dificultad para calcular aproximadamente el coste "sobre el terreno"
- El suministro no está asegurado, tanto en cantidad como calidad
- Algunas veces es más caro que la construcción convencional
- Los contratistas evitan el riesgo

Superación de los Obstáculos

- Estudios de laboratorio para establecer las propiedades de ingeniería
- Estudios de laboratorio para establecer el impacto medioambiental
- Proyectos piloto de construcción (a escala total o casi total)
- Supervisión de la ingeniería y desempeño ambiental a largo plazo
- Modificar las especificaciones, etc., según sea necesario
- Desarrollar estándares nacionales y/o regionales
- Educación - abordar las inquietudes directamente y centrarse en los beneficios

Calibrado y Aplicaciones de los TDA

Tipo A (menos de 3 pulgadas) - drenaje, aislamiento, reducción de vibración

Tipo B (menos de 12 pulgadas) - relleno ligero

Tipos de Asfalto Engomado de Mezcla Caliente

RHMA-O - Hormigón Asfáltico de Granulometría Abierta

RHMA-G - Hormigón Asfáltico de Granulometría Discontinua

RHMA-D - Hormigón Asfáltico de Granulometría Densa

RHMA-O RHMA-G RHMA-D

Normativa Disponible

- Aplicaciones de Ingeniería Civil para Neumáticos de Desecho
- Normativa FHWA para limitar el calor en los rellenos
- Estudios de la agencia estadounidense del medioambiente (Environmental protection agency o EPA) sobre impacto medioambiental

Proyecto Exitoso de Cementación de los TDA

Intercambio de Dixon Landing

- PROBLEMA: Cementación Construida en Plataforma de Barro
- SOLUCIÓN: Uso de TDA para el núcleo de la cementación
- SOLUCIÓN MÁS BARATA: se ahorraron $230.000 USD

Corte Transversal Típico

Evitar el Calentamiento de la Cementación

- Sin TDA no contaminado con gasolina, petróleo, lubricante, etc.
- Limitar los TDA de tamaño fino
- El espesor máximo de la capa TDA es de 3 metros (10 pies)
- Minimizar el contacto del relleno con el agua y el aire

Descarga de TDA

Expansión con Excavadora

Compactación con rodillo de 10 Toneladas

Costes por Unidad

- Costes de instalación de TDA (incluyendo geotextil) = 3,74/yd3
- Gastos de adquisición y transporte de TDA = $23.66/yd^3
- Coste sobre el terreno de TDA = $27/yd^3
- Coste sobre el terreno de agregado ligero = $50/yd^3

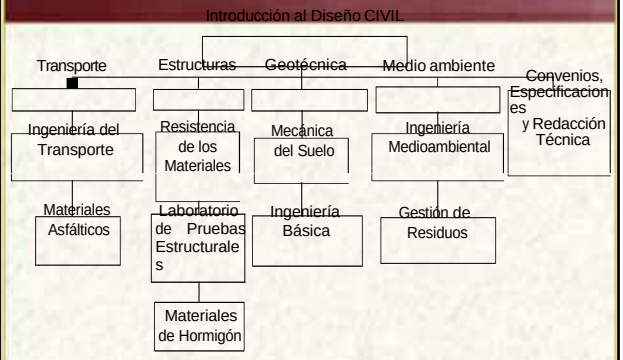
Ahorro en Costes

- Ahorro de costes a CALTRANS usando TDA suministrado de forma gratuita por CIWMB = $477.000
- Ahorros en coste al estado menos el precio de compra de los TDA = $230.000

Ejemplo de Problemas

- Si necesitamos 5000 yd^3 de relleno compactado, ¿cuánto volumen de TDA se necesitará del pozo de suministro? Para este problema el factor de expansión es 1,5.

Relacionado con Aplicaciones de Neumáticos de Desecho



Conclusiones

- Los obstáculos para usar materiales reciclados pueden superarse
- Los TDA posee propiedades que necesitan los ingenieros
- Las aplicaciones de ingeniería civil son el tipo de uso para residuos de neumáticos de mayor crecimiento en los Estados Unidos
- Existen algunas especificaciones y normativas disponibles
- Efectos medioambientales manejables

GRACIAS

MODELOS MATERIALES PARA CAUCHO TRITURADO Y TDA

California State University, Chico

Productos de Neumáticos de Desecho para Aplicaciones CE

- Neumáticos Enteros
- Triturado de Neumáticos (TDA)
- Caucho Triturado/Pulido de Neumáticos

Neumáticos Enteros

AGREGADOS DERIVADOS DE NEUMÁTICOS (TDA)

Definición:

Piezas de neumáticos triturados que miden normalmente entre 25mm (1 pulgada) y 300 mm (12 pulgadas) en su tamaño más grande.

Tamaño de hilo pequeño

Tamaño de hilo grande

Muestra de Caucho Triturado

Pulido de Neumático de Caucho

Comparación Conjunta

APLICACIONES DE INGENIERÍA CIVIL: Neumáticos Enteros

- Barreras Anti-choque
- Muros de contención
- Cercas
- Alcantarillas
- ¿Otros?

APLICACIONES DE INGENIERÍA CIVIL: Agregados Derivados de Neumáticos (TDA)

- Relleno para Cimientos y Diques
- Relleno para Soportes de Muros y Puentes
- Aislamiento de Base para Carreteras
- Drenajes de Borde Lateral
- Capa Anti-vibración Bajo las Líneas Férreas
- Cobertura y Drenaje Diaria para Vertedero
- Campos de Drenaje de Sistema Séptico

APLICACIONES DE INGENIERÍA CIVIL: Caucho Triturado/Pulido de Neumáticos

- Hormigón Asfáltico Cauchutado
- Hormigón de cemento tipo Portland engomado
- Vía de Circulación
- ¿Otros?

Propiedades para Ingeniería de TDA (Según Humphrey, 2003)

1. Gradación
2. Gravedad Específica y Capacidad de Absorción
3. Comprimibilidad
4. Módulo de Elasticidad
5. Consolidación Dependiente del Tiempo de los Rellenos con TDA
6. Características de la Presión de Terreno Lateral
7. Resistencia al Corte
8. Conductividad Hidráulica (Permeabilidad)
9. Conductividad Termal

Trasfondo sobre mecánica de materiales

- Mecánica Continua
  - Distribución uniforme de la materia
  - Sin vacíos
  - Cohesivo (todas las porciones están conectadas entre sí, y no tienen roturas, grietas o separaciones)
- Caucho Triturado y TDA
  - Material discontinuo
  - Contiene vacíos de aire
  - "Sin cohesión"
  - Propiedades similares a las arenas y gravillas

Mecánica Continua

- Los cuerpos deformables desarrollan estrés normal (tensión y compactación) y al corte cuando se aplican cargas sobre ellos
- Los materiales frágiles no soportan la tensión perpendicular a la tensión de tracción máxima
- Los materiales dúctiles no soportan cortes paralelos al estrés de corte máximo
- El índice de Poisson relaciona la contracción del eje transversal a la elongación longitudinal (o vice versa) 0,25< **μ** < 0.34 para la mayoría de materiales CE

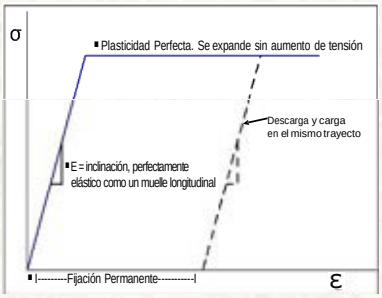
RESISTENCIA DE LOS TDA

Los TDA pueden soportar tensiones comprimidas pero no de tracción y normalmente no soportan el corte

La resistencia al corte de los TDA influyen cinco factores:

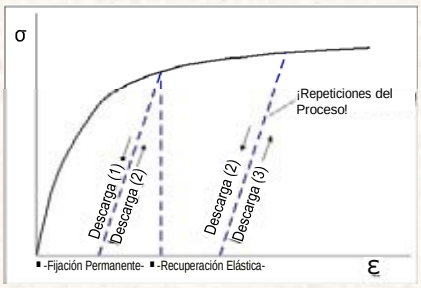
1. Tamaño y forma de los hilos de neumáticos
2. La densidad (embalaje) de la muestra al principio de la prueba
3. Magnitud de la carga normal comprimida
4. La orientación de los hilos de neumático en el espécimen
5. "Cohesión"

Modelo Material: Elastoplástico



Modelo Material Más General

Modelo sin Elasticidad no Lineal

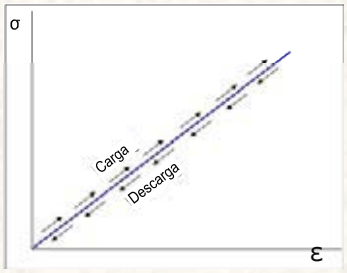


Modelo General Más Realista

Se pierde energía en el proceso de descarga y recarga (histéresis)

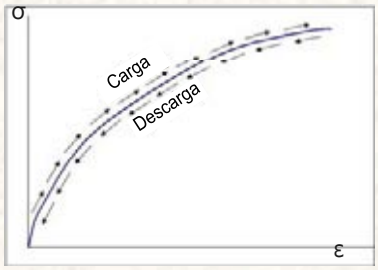
Acercamiento a la Elasticidad

- Conducta elástica longitudinal: facilita las cosas
- Verdadero hasta el Límite Elástico



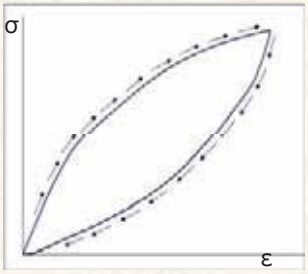
Elasticidad No-Longitudinal (Caucho)

- Trayecto de carga no longitudinal
- Sigue cargando y descargando en el mismo trayecto



Comportamiento Anaelástico

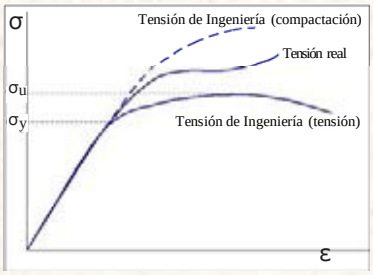
- No carga y descarga en el mismo trayecto
- Energía termal- disipa a los alrededores sin dañar el material
- Útil para amortiguar la vibración
- Ejemplos
  - Base para motores y otros maquinas rotatorias
  - Subsuelo bajo líneas férreas (aplicación con TDA)



- Solo tenemos que pensar en las aplicaciones para terremotos, si el hormigón pudiera funcionar así añadiéndole caucho de neumáticos de desecho

Efecto de Poisson

- Después de doblarse, los valores de ingeniería y tensión real se desvían apreciablemente

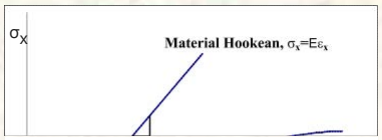


Posibles Modelos Materiales

- Hookean

Elasticidad Longitudinal

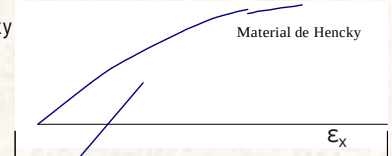
E = Muelle Constante



- Material de Hencky

No longitudinal

Muelle



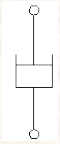
En ambos caso, la energía se conserva si las curvas de carga y descarga coinciden

Materiales Viscosos

- Llamados viscosos por su comportamiento similar al fluido
- El material es viscoso si la tensión determina la tasa de deformación
- es decir, la tasa de deformación es una función de la tensión
  - $d\varepsilon/dt = \varepsilon_x = g(\sigma_x)$
- La deformación no se recupera al desaparecer la tensión

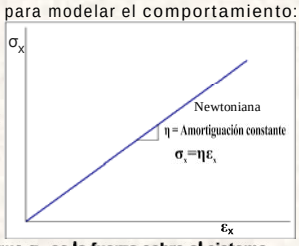
Materiales Viscosos

- Si la tensión es una función lineal de la tasa de deformación, entonces lo llamamos fluido de Newton.
  - Usar amortiguador lineal para modelar el comportamiento:



η =Amortiguación constante

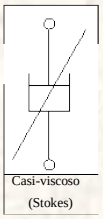
Viscosidad Ideal (Newtoniana)

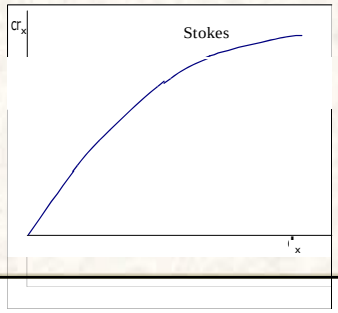


- **En este modelo, consideramos que σ_x es la fuerza sobre el sistema mientras que ε_x es la velocidad del pistón. En consecuencia η = la amortiguación es constante**

Cuando la Fuerza y Velocidad no se Relacional Linealmente

- Tenemos un caso de casi viscosidad o viscosidad no newtoniana.
- También se le llama Material "Stoke's"

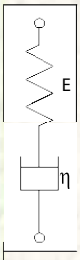




Materiales Visco-elásticos

- Materiales que poseen propiedades de viscosidad y elasticidad
- Muchos materiales son visco elásticos
  - Ejemplos:
    - Metales y rocas estructurales a temperatura altas
    - Plásticos a temperatura ambiente
- Usar combinaciones de muelles y amortiguadores para dar forma a los materiales visco elásticos

Modelo Lineal de Maxwell

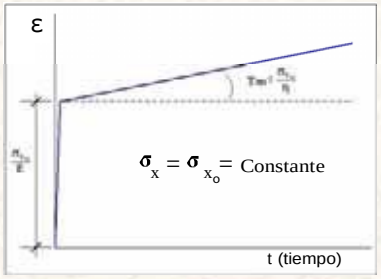


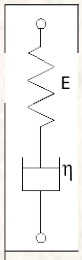
- Muelle y amortiguador lineal en serie, por tanto, $F_{smuelle} = F_{amortiguador}$
- La tasa de deformación se compone de dos partes
  1. Tasa de deformación en muelle, $\dot{\varepsilon}_x = \dot{\sigma}_x / E$
  2. Tasa de deformación en amortiguador, $\dot{\varepsilon}_x = \sigma_x / \eta$
- Deben sumarse usando la fórmula de superposición para obtener la tasa de deformación total del sistema

$$\varepsilon_x = \sigma_x / E + \sigma_x / \eta$$

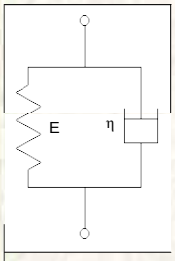
Modelo Gráfico Lineal de Maxwell – Tensión Constante

- La tensión constante produce un desplazamiento casi instantáneo del muelle más una tasa de deformación constante desde el amortiguador





Modelo de Kelvin



- El muelle y el amortiguador están en paralelo
- Las deformaciones son iguales, pero las fuerzas no
- Componentes de tensión:

$\sigma_{muelle} = E\varepsilon_x$

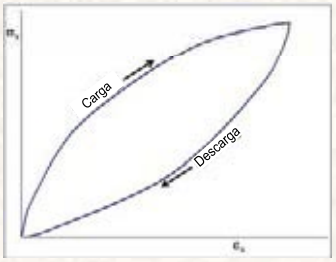
$\sigma_{amortiguador} = \eta\varepsilon_x$

Por tanto, por superposición

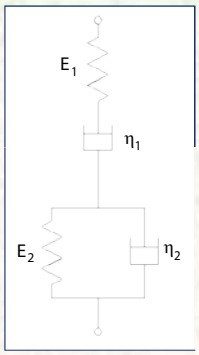
$\sigma_{total} = E\varepsilon_x + \eta\varepsilon_x$

Relajación de Kevin

- Cuando el muelle se relaja, la energía se disipa hacia el amortiguador

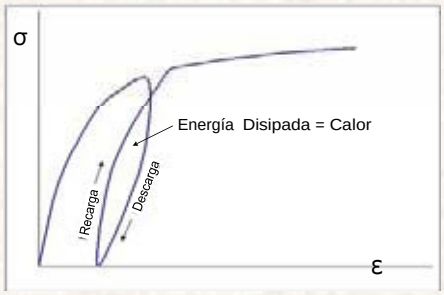


Más modelos generales (Ecuación de Fluido Burgers)

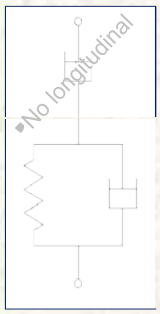


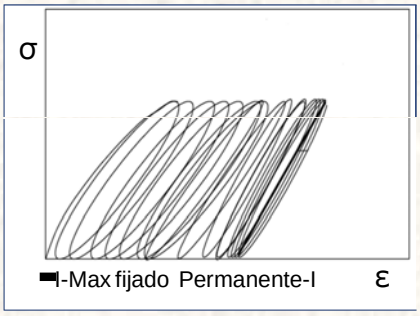
- Combinar modelo de Maxwell y Kelvin en Serie
  - Alguna deformación permanente
  - Alguna elasticidad perfecta
  - Alguna atenuación de la vibración
- Hay muchas combinaciones adicionales de muelle y amortiguador

Comportamiento del Modelo General



Modelo General- Modelo Kelvin en Serie con Amortiguador no Lineal





Aplicaciones Posibles

- Disipación de Energía
  - Absorción de Energía Sísmica
- Mitigación de vibración
  - Armazón de Maquinaria
  - Cargas de Tráfico para Tren y Camión

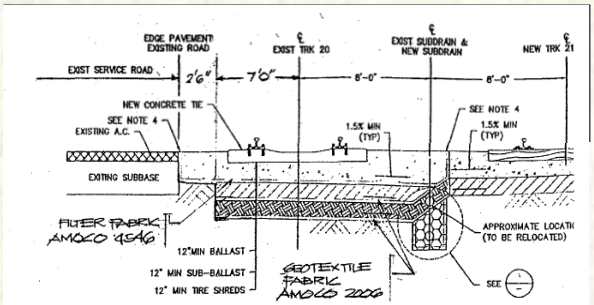
Aplicación de Mitigación de Vibración-Línea de Tren Ligero Vasona y vía de Prueba

- TDA se utilizados como cimiento bajo el balastro de la vía férrea
- Objetivo: Reducir la vibración para residencias y negocios locales

Historia del caso Proyecto de Tren Ligero VTA

- Reducir las vibraciones del suelo que afectan a los comercios y residencias adyacentes
- Hilos de neumático tipo A de 12" debajo del sublastre y 12" de lastre para 1591 pies de vía
- Las pruebas indican que hubo una reducción significativa de la vibración en la parte con TDA

Prueba Corte Transversal de Vía



Cross section of tire shred test section.

Prueba de Construcción de Vía con TDA

Prueba de Construcción de Vía

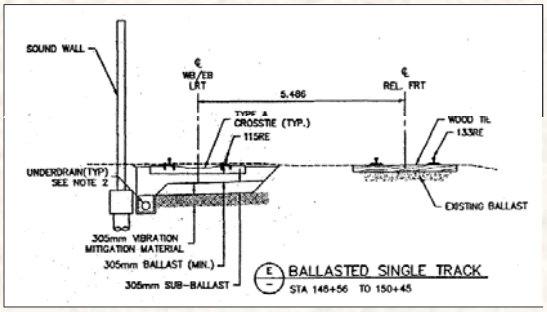
Vía de Pruebas Terminada

Sensor de Vibración Montado Bajo la Superficie

Dispositivos de Medición

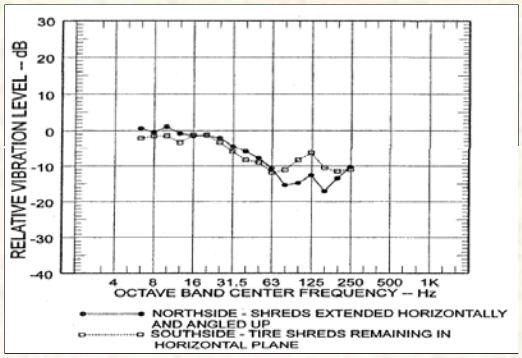
- Sensores de deformación para medir tensiones en los rieles
- Sonda de dial para medir deflexiones

Ilustración del Corte Transversal de la Línea Férrea



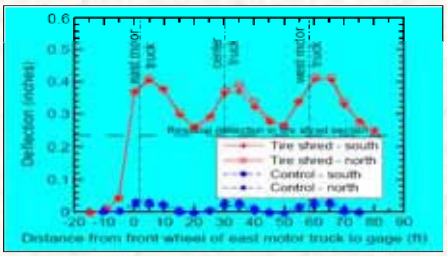
Fotos de la Construcción de la Línea Férrea

Resultados - Vibración



Deflexiones Tirantes

- Deflexiones Elásticas en tirantes en menos de 0.2 pulgadas, lo cual es aceptable
- Una deflexión menor permanente puede implicar una relajación más frecuente de las ataduras.



Ahorro en Costos

- Coste de una vía convencional = $100 USD por pie de vía
- Coste de vía con mitigación de vibración TDA = $121 por vía/pie
- Coste de loza flotante para mitigar vibraciones = $600-1000 por vía/pie
- Ahorro en Costes = $479-$879 USD por vía/pie
- Ahorros totales = $1 a $2 millones USD

Resumen

- Se presentaron modelos materiales prácticos aplicables a los TDA para mitigar vibraciones
- Los TDA pueden ahorrar dinero en estas aplicaciones
- Se requieren datos y estudios adicionales para calibrar estos modelos materiales

GRACIAS

¿PREGUNTAS?

Referencias

- Elastic and Inelastic Stress Analysis (Análisis de tensión elástica y no elástica), Irving H. Shames, Francis A. Cozzarelli. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
- Aplicaciones de ingeniería civil usando agregados derivados del neumático Presentada por Dr. Dana Humpherey. Patrocinado por: California Integrated Waste Management Board - CIWMB
- E Wall System en Kembla Grange: http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=3069

Resistencia al Corte de los Agregados Derivados de Neumáticos (TDA)

California State University, Chico

Información General

- Al fines de 2005, los EE.UU generaban aproximadamente 300 millones de neumáticos para desecho
- Históricamente, estos neumáticos para desecho ocupaban espacio en vertederos u ofrecían el caldo de cultivo perfecto para mosquitos y roedores cuando se los apilaba o se tiraban ilegalmente
- Afortunadamente, ahora existe mercado para el 82% de esos neumáticos, en 1990 ese porcentaje era del 17%.
- Estos mercados, de reciclaje y uso beneficioso siguen creciendo
- Los neumáticos desechados que restan siguen siendo apilados en montones o en vertederos

Información General

Los neumáticos de desecho se usan como sigue:

- 155 millones (52%) se usaron como combustible (TDF)
- 49 millones (16%) fueron reciclados o utilizados en proyectos de ingeniería civil
- 30 millones (10%) se convirtieron en caucho triturado y se reciclaron en productos
- 7,4 millones (2,5%) se convirtieron en caucho triturado y se usaron en asfalto engomado
- 6,9 millones (2,3%) se exportaron
- 6,1 millones (2.0%) se reciclaron en productos cortados/estampados/sellados
- 3 millones (1%) se destinaron a la agricultura y otros usos misceláneos

Mercados para Neumáticos de Chatarra

- Los 3 mercados más grandes para la chatarra de neumáticos son:
  - Combustible derivado de neumáticos
  - Aplicaciones de ingeniería civil
  - Aplicaciones de caucho triturado/hormigón asfáltico engomado
- Tanto el uso de reciclaje como el uso beneficioso de los restos de neumáticos se ha expandido mucho en la última década por el creciente énfasis en el reciclado y uso beneficioso por parte de autoridades estatales, locales y federales, la industria, y otras asociaciones
- Desgraciadamente, incluso con los importantes niveles de utilización y esfuerzos de reciclaje en marcha, no todos los restos de neumáticos se usan de forma beneficiosa

Aplicaciones de Ingeniería Civil

- El mercado de ingeniería civil engloba un amplio rango de usos para los neumáticos sobrantes
- El material de los neumáticos de chatarra normalmente reemplaza otro material usado actualmente en la construcción como los materiales de relleno ligero, agregado para drenaje o incluso tierra
- Una cantidad considerable de los restos de neumático para aplicaciones de ingeniería civil proceden de proyectos con montones
- Los neumáticos que se recuperan de los montones suelen estar más sucios que los de otras fuentes de neumáticos de desecho y normalmente se trituran

Agregados Derivados de Neumáticos (TDA)

Definición:

Las piezas de neumático procesado tienen una forma consistente y miden generalmente entre 25 mm (1 pulgada) y 300 mm (12 pulgadas) de tamaño.

Tamaño de hilo Pequeño

Tamaño de hilo Grande

Muestra de Caucho Triturado

Pulido de Caucho

Comparación de Tamaño

Aplicaciones de Ingeniería Civil

- Relleno y Cementación de Base
- Relleno para Muros de Contención y Soportes de Puentes
- Aislamiento de Base para Carreteras
- Drenajes de Borde Lateral
- Capa anti-vibración bajo las Líneas Férreas
- Aplicaciones de Vertedero
- Campos de Drenaje de Sistema Séptico

Relleno y Cementación de Base

- Los hilos de neumático pueden usarse para construir cementaciones en suelos débiles y compresibles
- Los hilos de neumático son adecuados para esta aplicación debido a su peso ligero
- Usar hilos de neumático como material de relleno ligero puede ser significativamente más barato que otras alternativas
- Las aplicaciones para relleno de suelo y diques incluyen: proteger las carreteras de la erosión, mejorar la estabilidad de pistas de gran pendiente en las carreteras y reforzar las arcenes

Relleno para Soportes de Muros y Puentes

- El peso ligero de los hilos de neumático reduce la presión horizontal y permite construir muros más finos y más baratos
- Los hilos de neumático también puede reducir problemas con la acumulación de agua y escarcha detrás de los muros porque son de drenaje libre y ofrecen buen aislamiento térmico

Propiedades para Ingeniería de TDA (Según Humphrey, 2003)

1. Gradación
2. Gravedad específica y capacidad de absorción
3. Compresibilidad
4. Modulo resiliente
5. Consolidación Dependiente del tiempo de los Rellenos con TDA
6. Presión lateral del terreno
7. Resistencia al corte
8. Conductividad Hidráulica (Permeabilidad)
9. Conductividad Termal

Antecedentes sobre Mecánica de Materiales

- Mecánica continua
  - Distribución uniforme de la materia
  - Sin vacíos
  - Cohesivo (todas las porciones están conectadas entre sí, y no tienen roturas, grietas o separaciones)
- Caucho triturado y TDA
  - Material discontinuo
  - Contiene vacíos de aire
  - Posee cohesión
  - Propiedades similares a las arenas y gravillas

Mecánica Continua

- Los cuerpos deformables desarrollan estrés normal (tensión y compactación) y al corte cuando se aplican cargas sobre ellos.
- Los materiales frágiles no soportan la tensión perpendicular a la tensión de tracción máxima
- Los materiales dúctiles no soportan cortes paralelos al estrés de corte máximo
- La relación de Poisson relaciona la contracción del eje transversal a la elongación longitudinal (o vice versa) ¿0,25<? < 0.34 para la mayoría de materiales CE

RESISTENCIA DEL CAUCHO TRITURADO

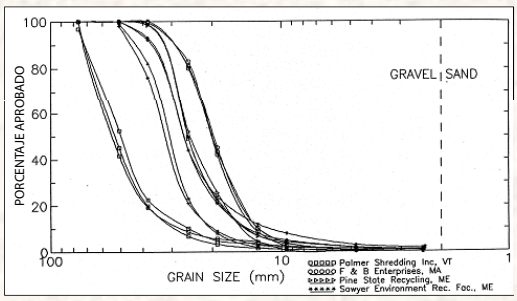
- El caucho triturado puede soportar tensiones comprimidas pero no de tracción y normalmente no soportan el corte
- Nosotros vamos a considerar tres factores que afectan la resistencia al corte del caucho triturado:
  1. Tamaño y forma de los hilos de caucho
  2. La densidad (embalaje) de la muestra al principio de la prueba
  3. Magnitud de la carga normal de compresión

1. Tamaño y Forma de las Partículas

- Nuestra muestra de caucho triturado tiene "gradación uniforme"; es decir, todas las partículas tienen casi el mismo tamaño y aproximadamente la misma forma cúbica
- Los TDA (hilos de neumático) también poseen una gradación bastante uniforme pero tienen formas irregulares
- Los siguientes esquemas muestran las curvas de gradación típicas para TDA, caucho triturado y pulido de caucho

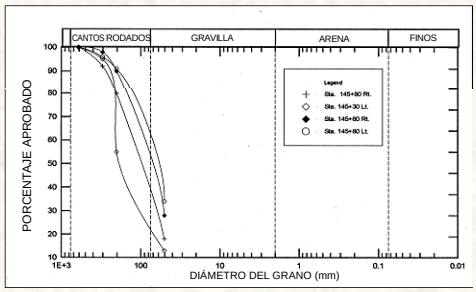
Gradación de TDA

3" de Tamaño Máximo:

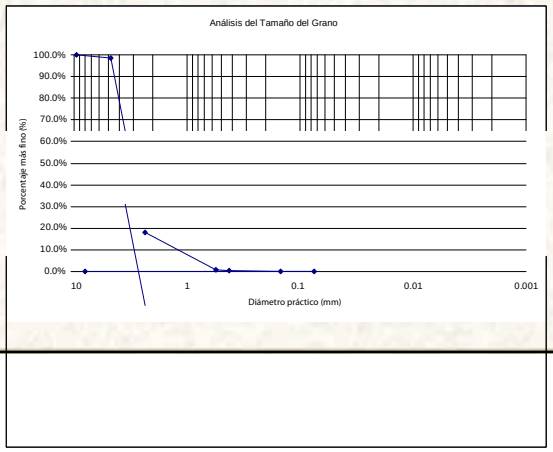


Gradación de TDA

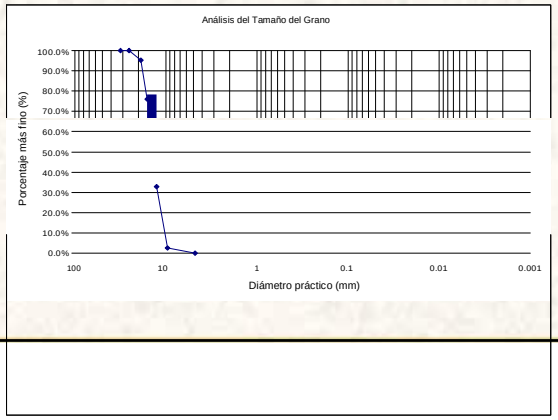
12” de Tamaño Máximo:



Gradación del Caucho Triturado



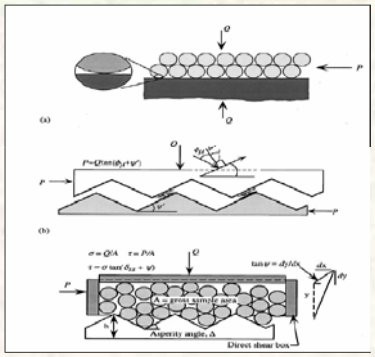
Gradación de los Pulidos de Caucho



2. Efectos de la Densidad o Empaque

- La preparación de la muestra puede influir en el comportamiento de resistencia al corte/tensión
- Inicialmente las muestras más sueltas disminuyen en volumen a medida que se cizalla
- Las muestras densamente empacadas se “dilatan” o expanden a medida que se corta
- Se necesita medir el desplazamiento perpendicular a la dirección de carga para saber que tienes

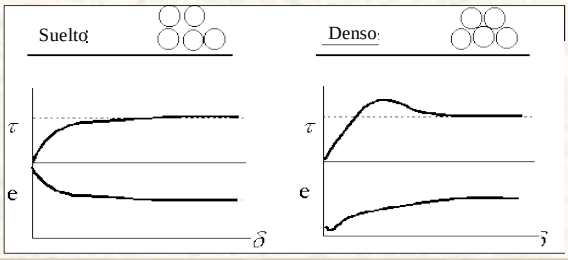
2. Efectos de la Densidad o Empaque



Efectos de la Densidad o Empaque

Para Esferas Uniformes:

(e = relación de vació, definido como el volumen de vacíos : volumen de sólidos)



3. Magnitud de la carga normal comprimida

- A medida que se aumenta la fuerza normal sobre la muestra, la tensión de corte de la muestra también aumenta
- La relación entre la tensión normal y la tensión de corte para un material granulado como el caucho triturado y TDA lo da el criterio de fallos Morh-Coulomb:

$$\tau = c + \sigma * \tan\phi$$

$T = c + \sigma \tan \varphi$

- τ = tensión de corte en plano de fallos
- σ = tensión normal en plano de fallos
- C = intersección de cohesión (=0 para la mayoría de materiales granulados)
- ϕ = ángulo de fricción interna (inclinación de la línea que relaciona la tensión de corte con la tensión normal

A nosotros nos interesa la resistencia al corte

Esta puede determinarse en el laboratorio usando una de las dos pruebas más comunes:

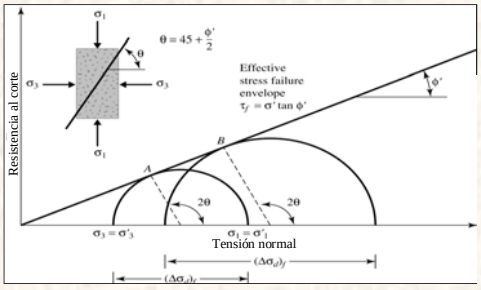
- Prueba Triaxial
- Prueba de Corte Directo

Máquina para Prueba Triaxial

Ejemplo de Sobre Fallo de la Prueba Triaxial

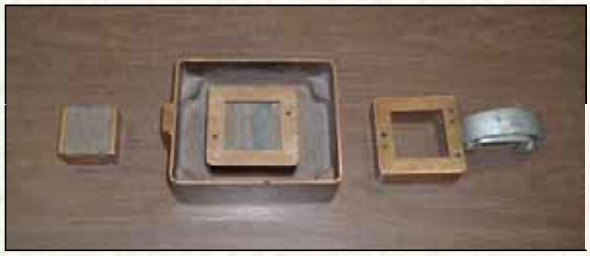
Tensiones principales en la fallos para la prueba de drenado:

σ_3 = presión circundante $\sigma_1 = \sigma_3 + (\Delta\sigma_d)_f$



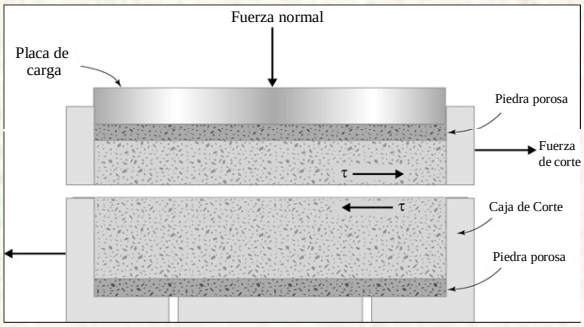
Máquina para Prueba de Corte Directo

Caja de Corte

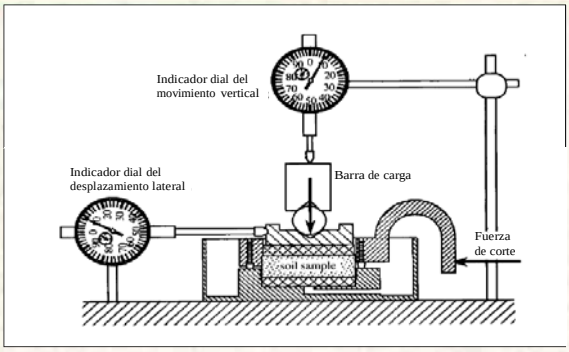


Maquina para Prueba de Corte Directo

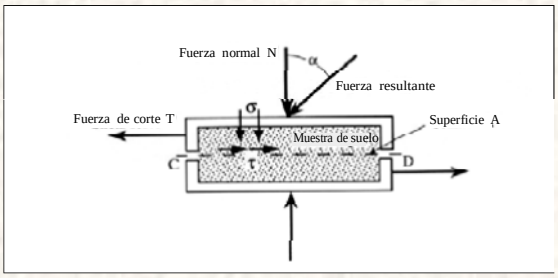
Prueba de Corte Directo



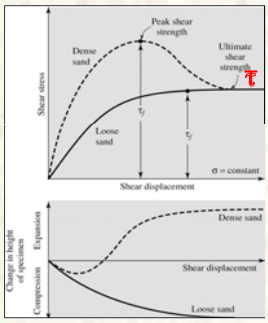
Esquema que Muestra el Equipo de Corte Directo



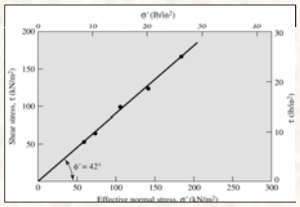
Muestra de Caucho Triturado en la Caja de Corte Directo



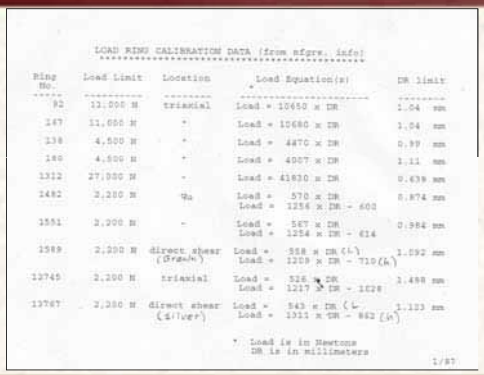
Ejemplo de curvas del prueba de corte directo



Ejemplo de sobre fallado (para arena seca, la nota c es cero)



Datos del Aro de Calibración



LOAD RING CALIBRATION DATA (from mfgrs. info)

Ring No.	Load Limit	Location	Load Equation(s)*	DR limit
92	11,000 N	triaxial	Load = 10650 x DR	1.04 mm
147	11,000 N	"	Load = 10680 x DR	1.04 mm
138	4,500 N	"	Load = 4470 x DR	0.99 mm
140	4,500 N	"	Load = 4007 x DR	1.11 mm
1312	27,000 N	"	Load = 41830 x DR	0.639 mm
1482	2,200 N	Qu	Load = 570 x DR Load = 1256 x DR - 602	0.974 mm
1551	2,200 N	"	Load = 567 x DR Load = 1254 x DR - 614	0.984 mm
1589	2,200 N	direct shear (Drake)	Load = 558 x DR (L) Load = 1209 x DR - 710 (L)	1.092 mm
12745	2,200 N	triaxial	Load = 526 x DR Load = 1217 x DR - 1028	1.488 mm
13767	2,200 N	direct shear (Silver)	Load = 543 x DR (L) Load = 1311 x DR - 882 (L)	1.123 mm

* Load is in Newtons
DR is in millimeters

1/87

Ventajas y Desventajas del Prueba de Corte Directo

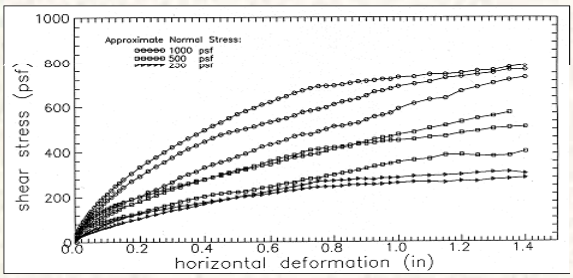
- Desventaja:
  - El suelo se fuerza a fallar a lo largo del plano de división de la caja de corte, en vez de un plano débil natural
  - La distribución de la tensión de corte no es uniforme, pero se asume que lo es
- Ventajas:
  - Fácil de realizar
  - Bueno para probar la resistencia al corte en superficies de contacto de diferentes materiales (Ej. materiales de suelo y cimientos)

Resistencia al Corte

- Un aparato de corte directo o aparato de corte triaxial puede usarse para medir la resistencia al corte de los hilos de neumático
- Sin embargo, los aparatos suficientemente grandes para los TDA son escasos, así que generalmente se completan en 1 o en hilos de neumático más pequeños
- La prueba triaxial no debería usarse para hilos de neumático con cinturones de acero salientes

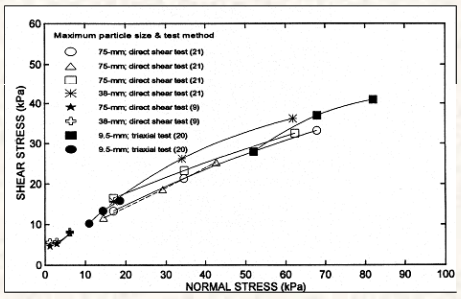
Resistencia al Corte

La tensión de corte versus la deformación horizontal para hilos de neumático para reciclaje Pine State se probaron en una caja de corte directo (Humphrey, et al., 1992)



Resistencia al Corte

La comparación de los sobres de fallos de TDA con niveles de tensión por debajo de lo normal (menos que unos 2000 psf)



Referencias (21)Humphrey, et al.,1992 (9)Cosgrove, 1995 (20)Benda, 1995

Resistencia al Corte

- Estos sobres de fallas no son lineales y cóncavos en la parte inferior
- Las pruebas de 0,5 y 1 pulgadas para hilos de neumáticos a niveles más altos de tensión produce sobres de fallos que son aproximadamente lineales
- Para pruebas de alta tensión, usando un criterio de fallos de deformación axial del 15%, Ahmed (1993) obtuvo intersecciones de cohesión desde 572 a 689 psf y ángulos de fricción desde 15,9 a 20,3 grados

Resumen

- Para determinar la propiedades de resistencia de las partículas de neumático triturado, deben realizarse pruebas de laboratorio
- El método mas apropiado es la prueba de corte directo
- Al igual que el suelo, la resistencia al corte de las partículas de caucho aumenta a medida que aumenta la tensión normal
- En condiciones de carga normal, los TDA presentan una cohesión aparente

GRACIAS

http://www.cp2info.org/center

¡E [illegible] se decide hoy

Convenios, Especificaciones y Redacción Técnica

Esquema

- Módulo 1:

  Normas Internacionales ASTM

- Módulo 2:

  Especificaciones y Provisiones Especiales

Módulo 1: Esquema

- Información general de ASTM
- ¿Qué es una ASTM?
- ¿Por qué necesitamos las normas ASTM?
- Normas ASTM para uso de neumáticos de desecho en aplicaciones CE
- Resumen

Información general de ASTM

- Conocidas originalmente como American Society for Testing and Materials, se las llama ASTM International
- La sede de la organización se encuentra en West Conshohocken, Pennsylvania (EE.UU.), a unas 5 millas al noroeste de Philadelphia
- Un grupo de científicos e ingenieros, dirigidos por Charles Benjamin Dudley formaron la American Society for Testing and Materials en el año 1898 para abordar el problema de las frecuentes roturas de rieles en la creciente industria del ferrocarril

¿Qué es una ASTM?

- La ASTM International es una de las organizaciones creadoras de estándares voluntarios en el mundo
- Los miembros de la ASTM son fabricantes, usuarios, consumidores, gobierno y académicos de más de 100 países que se dedican a desarrollar documentos técnicos que constituyen la base para fabricación, gestión , adquisición, códigos y reglamentos
- Los comités elaboran más de 12.000 normas ASTM que pueden encontrarse en el libro anual de normas ASTM de 77 volúmenes

Secciones de ASTM

1. Productos de Acero y Hierro
2. Productos Metálicos Sin Hierro
3. Métodos de Prueba para Metales y Procedimientos Analíticos
4. Construcción
5. Productos Derivados del Petróleo, Lubricantes y Combustibles Fósiles
6. Pinturas, Revestimientos Asociados y Aromáticos
7. Textiles
8. Plásticos
9. Caucho
10. Aislante Eléctricos y Electrónicos
11. Tecnología Medioambiental y de Aguas
12. Energía Nuclear, Solar y Geotérmica
13. Dispositivos y Servicios Médicos
14. Métodos y Instrumentos Generales
15. Productos Generales, Especialidades Químicas y Productos de Uso Final

Sección 4 - Construcción

- Volumen 04.01 - Cemento, Cal; Yeso
- Volumen 04.02 - Hormigón y Agregados
- Volumen 04.03 - Materiales para Carreteras y Pavimentación; Sistemas de Pavimentación con Vehículos
- Volumen 04.04 - Techado e Impermeabilización
- Volumen 04.05 - Techado, Impermeabilización y Materiales Bituminosos
- Volumen 04.06 - Aislamiento Térmico; Acústica Medioambiental
- Volumen 04.07 - Fabricación de Sellos y Sellantes; Normas para Incendios; Piedra de Dimensión
- Volumen 04.08 - Suelo y Roca (I): D 420 a D 5779
- Volumen 04.09 - Volumen 04.09: Suelo y Roca (II): D 5780 -último; Geosintética
- Volumen 04.10 - Madera
- Volumen 04.11 - Construcción de Edificios
- Volumen 04.12 - Construcción de Edificios (II) E 1672 más Reciente; Sistema de Gestión de Inmuebles

Sección 9 - Caucho

- Volumen 09.01- Caucho, Natural y Sintético - - Métodos Generales de Prueba; Carbón Negro
- Volumen 09.02 - Productos de Caucho, Industrial: Especificaciones y Métodos de Prueba Relacionados Empaques; Neumáticos

¿Por qué necesitamos las normas ASTM?

- ASTM International no tiene la función de exigir o hacer cumplir sus estándares
- Estos pueden pasar a ser de cumplimiento obligatorio cuando se hace referencia a ellas en un contrato externo, de una empresa o gobierno

¿Por qué necesitamos las normas ASTM?

- Otros gobiernos (locales y en todo el mundo) también hacen referencia a las normas ASTM
- Las sociedades que hacen negocios internacionales pueden elegir como referencia una norma ASTM

Membresía ASTM

- La membresía en la organización está abierta a todas las personas que tengan interés en sus actividades
- Las normas se elaboran dentro de comités, y se forman nuevos comités a medida que se necesita, a solicitud de los miembros interesados
- Desde 2007, hay más de 30.000 miembros, incluyendo más de 1100 organizaciones de más de 120 países

Especificaciones ASTM para neumáticos de desecho

ASTM D6270

Práctica Estándar para el

Uso de Neumáticos de Desecho en

Aplicaciones de Ingeniería Civil

Denominación: D 6270-98 (Re-aprobado en 2004)

ASTM D6270: Importancia y Uso

Esta norma cubre los siguientes productos de neumáticos de desecho:

- migas de neumático o hilos de neumático compuestos por piezas de neumáticos de desecho
- mezcla de migas de neumático/suelos
- paredes laterales de neumáticos
- neumáticos de desecho enteros

usados en aplicaciones de ingeniería civil

ASTM D6270: Importancia y Uso

Los productos derivados de los neumáticos se usan en las siguientes aplicaciones de ingeniería civil:

- relleno ligero para terraplén
- relleno ligero posterior para muros de contención
- capas de drenaje
- capa de aislamiento térmico para limitar la penetración de escarcha debajo de las carreteras
- relleno aislante para limitar la pérdida de calor de los edificios
- reemplazo de tierra o roca en otras aplicaciones de relleno

ASTM D6270: Importancia y Uso

Usos de neumáticos desechados enteros y paredes laterales de neumático incluyen:

- relleno cuando los neumáticos enteros se han comprimido en fardos
- muros de contención
- conductos de drenaje

ASTM D6270: Mecanismo

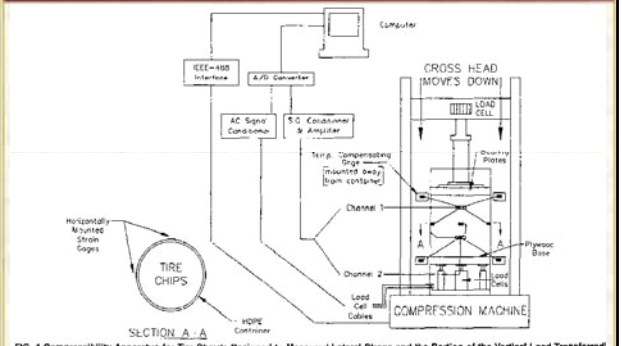


FIG. 1 Compressibility Apparatus for Tire Shreds Designed to Measured Lateral Stress and the Portion of the Vertical Load Transferred by Friction from Tire Shreds to Container (8)

ASTM D6270: Mecanismo

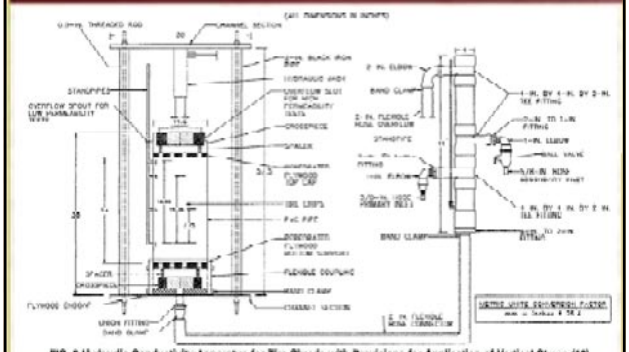


FIG. 2 Hydraulic Conductivity Apparatus for Tire Shreds with Provisions for Application of Vertical Stress (10)

ASTM D6270: Beneficios

- 1/3 a 1/2 de la densidad en seco de un suelo típico
- 8 veces más resistencia térmica que el suelo típico
- Presión lateral de terreno reducida en un 50%
- Alta conductividad hidráulica

ASTM D6270: Usos de Construcción

- Normalmente se usan dos tamaños distintos (Tipo A: <3 pulgada, Tipo B: <12 pulgadas)
- Los hilos grandes de neumático deben compactarse con una excavadora, rodillo sheepsfoot, o rodillo con tambor vibratorio suave
- Debe cubrirse con un espesor suficiente de tierra
- En casos donde el pavimento se coloca sobre los hilos de neumático y en aplicaciones de drenaje, los hilos de neumáticos deben envolverse completamente en material geotextil

ASTM D6270: Cálculos

Densidad de sólidos de hilos de neumático $P_s = S_a (p_w)$ (1)

Donde:

S_a = gravedad específica aparente, y

P_w = densidad del agua.

Modulo Resiliente $M_R = A\Theta^B$ (2)

Donde:

Θ = primer elemento invariable de la tensión (suma de las tres tensiones principales),

A = parámetro determinado por experimentación, y

B = parámetro determinado por experimentación.

Coeficiente de la presión lateral de terreno en reposo $K_O = \sigma_h/\sigma_v$ (3)

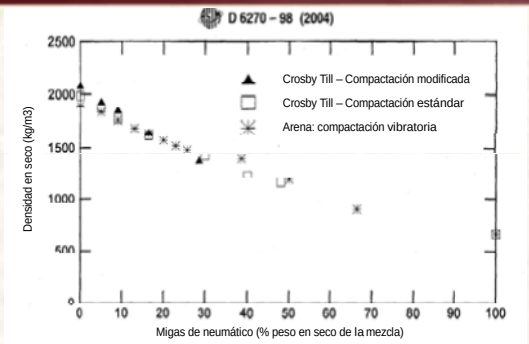
Índice de Poisson $\mu = K_O/(1 + K_O)$ (4)

Donde:

σ_h = tensión horizontal medida, y

σ_v = tensión vertical medida,

ASTM D6270: Uso de Neumáticos Desechados en Aplicaciones de Ingeniería Civil



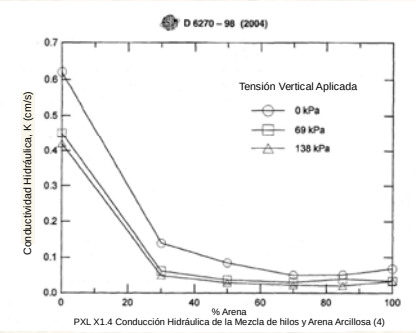
FXL X1.1 Comparación entre densidad seca comprimida de mezcla de jironeshilos con arena Oclawa, Crosby Till (S)

ASTM D6270: Uso de Neumáticos Desechados en Aplicaciones de Ingeniería Civil

TABLA X1.3 Comprimibilidad en carga inicial

Particle Size Range (mm)	Tire Shred Type	Tire Shred Source	Initial Tire Shred Density (kg/m³)	Vertical Strain (%) or Individual Vertical Stress (kPa) 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
2 to 51	Mixed	Fine State	Compacted	8 to 14	15 to 20	21 to 26	27 to 32	33 to 37
2 to 63	Uses	Fine State	Compacted	5 to 10	11 to 16	16 to 22	23 to 29	33 to 35
2 to 51	Mixed	Sawyer	Compacted	5 to 10	13 to 18	17 to 23	23 to 30	30 to 37
	Mixed		Compacted	4 to 5	8 to 11	13 to 16	18 to 25	27
75 max	Mixed	Fine State	5 0 to 670	12 to 20	18 to 28	- - - -	- - - -	- - - -
2 to 51	Mixed	Fine State	Loose	18	34	41	46	52
2 to 63	Mixed	Fine State	Loose	3	10	10	10	10
	- - - -		Loose	9	12 to 17	17 to 24	24 to 31	30 to 38

ASTM D6270: Uso de Neumáticos Desechados en Aplicaciones de Ingeniería Civil



PXL X1.4 Conducción Hidráulica de la Mezcla de hilos y Arena Arcillosa (4)

ASTM D6270: Introducción al Relleno de Cementaciones

- El desmenuzado de neumáticos de chatarra produce hilos de caucho cuyo tamaño va desde hilos grandes hasta migas
- Tanto los hilos como las migas de neumático se han usado como material de relleno ligero para cementación de carreteras y relleno posterior detrás de muros de contención
- Los hilos o migas pueden usarse por sí solos o mezclarse con tierra

ASTM D6270: Introducción al Relleno de Cementaciones

- Los hilos de neumático suelen variar de tamaño entre 12 y 3 pulgadas
- Las migas de neumático suelen tener un tamaño máximo de 3 pulgadas hasta un mínimo de 1/2

ASTM D6270: Introducción al Relleno de Cementaciones

Las cementaciones que contienen hilos o migas de neumáticos construidos envolviendo totalmente los hilos o migas con un material geotextil y colocando al menos 3 pies de tierra natural entre la parte superior de los neumáticos y la carretera

ASTM D6270: Relleno para Cementación Registro de Desempeño

- Al menos 15 estados han usado hilos o migas de neumáticos desechados como material de relleno ligero para la construcción de cementaciones o relleno posterior
- Algunos proyectos han usado hilos o migas como material para cementación, mientras que otros han mezclado las migas de neumático con tierra
- En 2004, más de 70 proyectos exitosos se han construido en carreteras estatales, locales o privadas

ASTM D6270: Relleno para Terraplén- Registro de Desempeño

- Aparte de los problemas con la perforación del caucho de neumático en los vehículos de larga distancia por el acero expuesto en los hilos o migas de neumático, no han surgido otros problemas e construcción en los proyectos de cementación con neumáticos desechados
- Una adecuada compactación, que siempre es una preocupación importante en todo proyecto de cementación, tiene aún mayor importancia en un proyecto de cementación con hilos o migas de neumático, donde se sabe que ocurrirá algo de consolidación
- Es posible que se produzca agrietamiento en la carretera sobre un cementación con hilos o migas de neumático por la consolidación a largo plazo o a la consolidación diferencial

ASTM D6270: Relleno para Cementación Registro de Desempeño

Desde 2004, al menos 15 estados han completado proyectos de cementación con neumáticos desechados, pero sólo seis estados (North Carolina, Oregon, Vermont, Virginia, Wisconsin y Maine) han preparado especificaciones o algunas normas para su uso

ASTM D6270: Características del Material

- Gravedad Específica
- Capacidad de Absorción de Agua
- Gradación
- Densidad de Compactación en Seco
- Compresibilidad
- Modulo Resiliente
- Coeficiente de Presión Lateral del Terreno
- Índice de Poisson
- Resistencia al Corte
- Conductividad Hidráulica
- Conductividad Termal

ASTM D6270: Propiedades del Relleno de Cementaciones

- Gravedad Específica: 1,1 a 1,31.1 to 1.3
- Peso de la Unidad Compactada: 20 lb/ft^3 a 45 lb/ft^3
- Angulo de Fricción: 19° a 25°
- Valor de cohesión: 160 lb/ft^2 a 240 lb/ft^2
- Módulo de Young: 112 lb/in^2 a 181 lb/in^2
- Permeabilidad: 1.5 a 15 cm/seg

ASTM D6270: Diseño de Mezcla

- Las migas de neumático pueden combinarse o mezclarse con tierra
- A medida que se incrementa el porcentaje de tierra, el peso unitario de la mezcla aumenta
- La proporción de mezcla se calcula normalmente en base volumétrica
- Se sugiere un máximo de proporción de mezcla de miga a tierra del 50:50 para que el uso de la miga de neumático no se reduzca demasiado
- Si el peso unitario del relleno no es problema, entonces pueden mezclarse porcentajes menores de migas de neumático (10 al 25 por ciento) con el suelo. Esto podría mejorar la compactibilidad del relleno

ASTM D6270: Prácticas de Construcción y Características

- Relleno Ligero para Cementación: Densidad de Compactación en Seco Baja
- Capa Aislante: Resistencia Térmica
- Relleno para Muro de Contención: Densidad de Compactación en Seco Baja, Alta Conductividad Hidráulica, Baja Conductividad Térmica
- Aplicación de Drenaje: Alta Conductividad Hidráulica

ASTM D6270: Relleno de Cementación Procedimientos de Construcción, Manipulación del Material:

- El número de neumáticos a procesarse en hilos o migas está directamente relacionado con el volumen pretendido de la proporción de miga de neumático en el cementación
- Se estima que cada yarda cúbica de volumen requiere unos 75 neumáticos de automóvil que hayan sido desmenuzados en hilos o migas y compactados en un cementación

ASTM D6270: Relleno de Cementación Procedimientos de Construcción, Preparación del Terreno:

- El terreno del cementación debería preparase en casi la misma forma como si se usara tierra normal como material de relleno
- Si hay un nivel freático alto o área pantanosa en la base del cementación, es aconsejable construir una capa para drenaje
- Si hay un flujo natural de fluido en la zona donde se construirá el cementación, deben tomarse medidas para conducir ese fluido bajo el cementación

ASTM D6270: Relleno de Cementación Procedimientos de Construcción, Mezcla:

- Cuando se van a mezclar o combinar los hilos o migas de neumático con tierra, la mezcla debe hacerse de forma volumétrica, usando cargas de cubeta desde una cargadora frontal y mezclando los materiales de la mejor manera posible con la cubeta
- Otra opción para la mezcla de migas o hilos de neumático y tierra es crear capas alternadas de migas o hilos de neumático y de tierra

ASTM D6270: Relleno de Cementación Procedimientos de Construcción, Colocación

- Las migas de neumático deberían extenderse sobre una cobertor geotextil usando un buldózer de oruga
- Se debe extender una capa o levantador de 2 pies como mínimo sobre el material geotextil
- Se recomienda un máximo de espesor de 3 pies para el levantador puede extenderse y comprimirse

ASTM D6270: Relleno de Cementación Procedimientos de Construcción, Compactación:

- La compactación puede hacerse mediante al menos tres pasadas de la excavadora de oruga sobre la capa de migas de neumático
- Las partículas se alinean unas con otras y se consolidan bastante rápido
- El peso de la excavadora que pasa sobre las migas de neumático es suficiente para compactar fácilmente la capa de migas weight of the bulldozer
- Para migas más grandes o capas de mayor espesor, pueden ser necesarias hasta 15 pasadas de la excavadora para lograr consistencia

ASTM D6270: Relleno de Cementación Procedimientos de Construcción

- La capa superior de una cementación de migas de neumático debe estar situada por lo menos 3 pies por debajo de la capa base o cimiento del pavimento que irá sobre el cementación
- Cada capa de cementación de miga de neumático debe comprimirse completamente antes de colocar la siguiente capa
- Cuando se ha compactado completamente la capa superior de migas de neumático, los laterales y la parte superior de las migas de neumático deben envolverse y aislarse con el material geotextil

ASTM D6270: Relleno de Cementación Procedimientos de Construcción

- Debe colocarse un mínimo de 3 pies de tierra compactada sobre el material geotextil y las migas de neumático
- La tierra debería compactarse en capas más finas, de 6 a 12 pulgadas de espesor
- El cementación con migas de neumático sufrirá una deflación adicional durante el emplazamiento y compresión de la cubierta de tierra

ASTM D6270: Relleno para Cementación Problemas sin Resolver

- El problema principal y más urgente sin resolver es determinar la causa o causas de las reacciones exotérmicas que causaron incendios en tres cementaciones con neumáticos desechados en 1995s
- Otros proyectos de cementación con migas o hilos de neumático, especialmente los rellenos espesos, incluyendo aquellos que se han incendiado, deberían supervisarse de cerca, posiblemente por medio de la instalación de sondas de temperatura y pozos de muestreo de gas

ASTM D6270: Relleno para Cementación Problemas sin Resolver

- Debería medirse el ph de todo lixiviado acuático de un relleno con neumáticos desechados
- También deberían realizarse investigaciones de laboratorio bajo distintas condiciones y temperaturas para identificar bajo que condiciones pueden ocurrir estas reacciones exotérmicas

Algunas Normas ASTM Relativas a los Neumáticos de Desecho para Aplicaciones de Ingeniería Civil

- ASTM D422: Análisis del Tamaño de Partículas de Suelos
- ASTM D575: Métodos de Prueba de las Propiedades de compactación del Caucho
- ASTM D698: Métodos de Prueba para compactación, Características del Suelo Usando Esfuerzo Estándar
- ASTM D5084: Medición de la Conductividad Hidráulica de Materiales Porosos Saturados Usando un Permeámetro de Pared Flexible
- ASTM D3080: Prueba de Corte Directo en Suelos en Condiciones de Drenaje Consolidado

ASTM D422: Análisis del Tamaño de Partículas de Suelos

La siguiente es la determinación cuantitativa de la distribución del tamaño de partículas en suelos:

- La distribución de las partículas superiores a 75 **µm** se determina mediante tamizado
- La distribución de partículas de tamaño inferior a 75 **µm** se determina por un proceso de sedimentación, usando un hidrómetro para asegurar los datos necesarios.

ASTM D575: Métodos de Prueba de las Propiedades de Compresión del Caucho

- Cubre dos métodos de prueba que son útiles para comparar la rigidez de los materiales de caucho bajo compactación
- Puede usarse por técnicos de caucho para ayudar a desarrollar materiales para aplicaciones comprimidas
- Prueba de compactación de deflexión específica: Se determina la fuerza necesaria para producir una deflexión específica
- Prueba de compactación por Fuerza Específica: Una masa específica o fuerza comprimida se ejerce sobre el espécimen y se mide la deflexión resultante

ASTM D698: Métodos de Prueba para Compresión, Características del Suelo Usando Esfuerzo Estándar

- Un suele con un contenido de agua dado se coloca en tres capas en un modelo de dimensiones dadas
- Cada capa se compacta mediante golpes de martillo neumático impulsado desde una altura de un pie
- Se determina el peso por unidad en seco resultante
- El procedimiento se repite para un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el peso de unidad seco y el contenido de agua del suelo
- Cuando se unen, los datos representan una relación conocida como la curva de compactación
- De dicha curva se desprenden los valores del contenido máximo de agua y del peso de unidad seca máximo estándar.

ASTM D5084: Medición de la Conductividad Hidráulica de Materiales Porosos Saturados Usando un Permeámetro de Pared Flexible

- Aplicar a un flujo laminar unidimensional de agua dentro de un material poroso como tierra y roca
- La conductividad hidráulica de los materiales porosos suele disminuir a mayor cantidad de aire en los poros del material
- Se debe presumen que la ley de Darcy es válida y que la conductividad hidráulica no se ve afectada por el gradiente hidráulico

ASTM D5084: Medición de la Conductividad Hidráulica de Materiales Porosos Saturados Usando un Permeámetro de Pared Flexible

- La validez de la ley de Darcy puede evaluarse si se mide la conductividad hidráulica del espécimen en tres gradientes hidráulicos; si todos los valores son similares (dentro de un 25%), entonces puede considerarse que la ley de Darcy es válida
- Cuando se cambia el gradiente hidráulico aplicado sobre un espécimen de prueba, el estado de tensión también cambia, y, si el espécimen es comprimible, su volumen también cambiara

ASTM D3080: Prueba de corte Directo en Suelos en Condiciones de Drenaje Consolidado

- El método de prueba consiste en poner el espécimen de prueba en un dispositivo de corte directo
- Se aplica una tensión normal predeterminada
- A medida que se corta el espécimen, se mide la fuerza de corte y el desplazamiento horizontal

Resumen

- Se abordaron los orígenes, antecedentes y propósitos de las normas ASTM
- Se revisaron las normas ASTM para uso de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil
- Se abordó la aplicación de TDA en relleno de cementaciones de acuerdo a la norma ASTM D6270

¿PREGUNTAS?

El Principio

Mantener los caminos en buen estado con materiales asfálticos para pavimentación

http://www.cp2info.org/center

¡ Futuro se Decide Hoy!

CIVIL 402 Especificaciones Contractuales y Redacción Técnica

Asfalto Engomado de Mezcla Caliente

Módulo 2: Esquema

- Especificaciones Estándar
- Estipulaciones Especiales Estándar
- Definiciones del asfalto engomado
- Aglutinante para caucho de asfalto
- Diseño de aglomerante de asfalto engomado
- Tipos de mezclas
- Precauciones

Planes y Especificaciones

Planes y Especificaciones

- Planes
  - Proporcionar esquema y dimensiones
- Especificaciones
  - Describir los requisitos específicos del proyecto en materia de:
    - Materiales
    - Ejecución
    - Estipulaciones generales y especiales

Tipos de Especificaciones

- Propietaria
- Método
- QC/QA
- Resultado Final
- En relación al Desempeño (PRS)
- En función del Desempeño (PBS)
- Desempeño (Ej., Garantía/Avales)
- Diseño/Construcción
- Diseño/Construcción/ Operación

Especificaciones

Métodos Estadísticos en Especificaciones

Estas pueden basarse en estadísticas:

- Método
- QC/QA
- Resultado Final
- PRS y PBS

Especificaciones Confidenciales

- Propios de la Marca/Producto/Proceso/ Fabricante
  - (por ejemplo., Productos o Procesos Patentados)
- Dificultad de uso en Procesos de Licitación Competitivos
  - "o equivalentes" más usados

Especificaciones de Método

- Descripción detallada de materiales y procedimientos a usarse durante la construcción del producto final
- Procedimental
- Prescriptivo
- Requiere inspección continua sobre el terreno
- Históricamente, es el método más comúnmente usado

Especificaciones de QC/QA

- 35 estados
- De uso común
- Cae entre especificaciones de método y resultado final

Elementos de las Especificaciones de QC/QA

- Definiciones
- Materiales
- Proceso de Construcción
- Equipo de Construcción
- Diseño de Mezcla
- Aceptación:
  - Lote y Sublote
  - Muestreo
  - Experimentación
- Factores de Pago/ Métodos de Pago
- Formación, Certificación y Acreditación

Especificaciones de Resultado Final

- Especifica las propiedades mínimas del material en terreno (Ej., densidad)
- NO especifica los métodos de construcción: libertad e innovación del contratista
- Puede o no incluir especificaciones de material
- Popularidad creciente (de uso)

Especificaciones de Resultado Final Fundamentadas Estadísticamente

- Considerar AMBOS Riesgos de Agencia o Propietario y Productor o Contratista
- Requiere tanto QC (Control de calidad) y AQ (Aseguramiento de la calidad)
- Terceros - ¿Seguros independientes?
- Muy comunes hoy en día

Especificaciones Relativas al Desempeño y en Función del Desempeño

- Usado normalmente en industria de fabricación de equipos y maquinaria
- Se esta aplicando en la construcción y en otros sectores Industriales
- La FHWA apoya firmemente el desarrollo de especificaciones relacionadas con el desempeño
  - HMA - WesTrack
  - PCC - ERES/Illinois

Especificaciones Relativas al Desempeño y en Función del Desempeño

- Requiere especificaciones de funcionamiento y propiedades sobre el terreno
- Se requiere un control de calidad/aseguramiento de calidad (QC/QA) exigente
- Debe haber relaciones confiables entre las propiedades del material y el desempeño real del pavimento - ¡CLAVE!

Elementos de la Especificación en Función del Desempeño "ideal"

- Métodos de prueba reproducibles
- Variabilidad de la construcción bien definida
- Existencia de relación sólida entre las prueba (propiedades medidas) y el desempeño del pavimento
- Desempeño del pavimento definible y medible

Especificaciones de Desempeño

- Específica un mínimo nivel de desempeño durante un periodo dado
- Ejemplos:
  - Menos del 5% de agrietamiento por fatiga después de 10 años de servicio
  - Profundidad de surcos menor a 13 mm (1/2 pulgada) después de 15 años de servicios
- Garantías

Definiciones AR

Definición de asfalto engomado: ASTM D8

Una mezcla de cemento de asfalto, caucho de neumático recuperado y algunos aditivitos en la que el componente de caucho supone al menos el 15% del peso de la mezcla total y ha reaccionado en el cemento de asfalto caliente lo suficiente para que las partículas de caucho se hinchen,

Definiciones

Especificación Relacionada: ASTM D 6114

Especificación estándar para aglomerante asfáltico engomado

Un material de alta viscosidad (normalmente mezclado sobre el terreno) que normalmente requiere agitación para mantener dispersas las partículas de CRM.

Aglutinante para Caucho de Asfalto

Componentes:

- Modificador de Caucho Triturado (CRM)
  - Caucho de Neumáticos de Desecho
  - Caucho de Desecho con un Alto Contenido de Caucho Natural
- Cemento Asfáltico
- Aceite extendedor - Caltrans

Especificaciones de Caltrans para Aglomerantes de Alta Viscosidad AR (Mezcla sobre el terreno)

- Modificador de asfalto : Aceite extendedor de 1 a 6% de masa asfáltica (para aglomerantes de sellado con gravilla, CT puede continuar requiriendo un mínimo de 2,5% de aceite para expansión)
- Asfalto + aceite extendedor: 78-82% por masa total de aglomerante AR
- Total CRM: 18-22% por masa total de aglomerante AR, del cual:
  - CRM de neumático de desecho = 73-77% de CRM total
  - CRM natural alto = 23-27% de CRM total

Modificador de Caucho Triturado (CRM)

- El CRM se produce al rallar completamente los neumáticos de desecho, hilos de pulido y otros productos de caucho usados. El CRM viene en una variedad de gradaciones y denominaciones de tamaño de varios proveedores y/o fuentes
- La gradación CRM y el contenido afecta no solamente a las propiedades del aglomerante AR, si no que también influye en la estructura de vacío de las mezclas de RHMA-G
- Los límites de gradación usados por Caltrans y ADOT son amplios y admiten bastante variación; se está evaluando hacer cambios
- Revisar las estipulaciones especiales del proyecto para verificar los límites de gradación CRM vigentes para proyectos específicos

Modificador de Caucho Triturado (CRM)

Modificador de Caucho Triturado (CRM)

- CRM de caucho natural alto se usa para mejorar la adhesión y flexibilidad, contención de sellado de agregado de migas y para compatibilizar el asfalto y las interacciones de CRM
- Tiene un alto contenido de caucho natural (40-48% por masa) y puede hacerse de neumático de desechos o de otras fuentes distintas a los neumáticos
- Caltrans también exige que se use ese "alto contenido natural" en aglomerantes para mezclas RHMA

Cementos Asfálticos

- El cemento asfáltico está disponible en una variedad de grados y denominaciones
- AR-4000 se ha utilizado para hacer asfalto engomado en el pasado
- Caltrans adoptó el sistema de Gradación por desempeño (PG) en 2006
- No usar asfalto modificado como base de cemento asfáltico para modificación con CRM

Cementos Asfálticos PG

- Para zonas de alta montaña y desierto, usar PG 58-22 como asfalto de base
- Para otras zonas (costera, valles interiores, montañas bajas y al sur, y desierto) se deben usar PG 64-16 como asfalto de base

Aditivos

- Aceites extendedores; ayuda a la interacción del caucho triturado y el asfalto proporcionando aromáticos absorbidos por el caucho, y ayuda a la dispersión mediante la suspensión química del caucho en el asfalto Exigido por Caltrans
- Agentes promotores de adhesión: se usan para mejorar la adhesión del aglomerante al agregado

Envío de Diseños de Mezcla de Asfalto Engomado

- Proveedor e identificación (o tipo) de neumático de desecho y CRM de alto contenido natural
- La gradación típica para cada tipo de material CRM se usa en el diseño de aglomerante para asfalto engomado
- Porcentaje de neumático de desecho y CRM de alto contenido natural por la masa total de la mezcla asfáltica y caucho
- Si CRM procede de más de un proveedor, se requerirá información de cada proveedor CRM
- Los resultados de las pruebas de laboratorio para los parámetros de prueba se muestran en el apartado de estipulaciones especiales

Envío de Diseños de Mezcla de Asfalto Cauchutado

- El grado, proveedor y certificado de cumplimiento del aglomerante PG con base asfáltica
- Porcentaje de la mezcla combinada asfáltica y modificador asfáltica por la masa total de aglomerante asfáltica cauchutado
- Tipo, proveedor, identificación y resultados de pruebas del modificador asfáltica que demuestren el cumplimiento de las especificaciones
- Porcentaje de modificador asfáltica por masa asfáltica
- Perfil de diseño
- Interacción mínima de tiempo y temperatura
- Hojas de Seguridad de los Materiales para todo

Perfil de Diseño para Mezcla de Asfalto Engomado

- Se desarrolla un perfil de diseño para evaluar la compatibilidad de los materiales usados, el cumplimiento de las propiedades de interacción de los componentes, y se comprueba la estabilidad de la mezcla AR en el tiempo
- Se requiere un perfil de diseño de 24 horas para cada proyecto, y para aplicaciones de mezcla caliente y de rociado
- Los anteriores diseños de mezcla AR pueden ser validados para materiales disponibles actualmente y pueden enviarse para más de un proyecto

Perfil de Diseño para Mezcla de Asfalto Engomado

	Minutos de Reacción					Limites de Especificaciones @ 45 Minutos (Caltrans 12/2005)
PRUEBA	45	90	240	360	1,440	
Viscosidad, cP Haake@ 190°C	2400	2800	2800	2800	2100	1500 - 4000
Resiliencia @ 25°C (% de rebote) (ASTM D 5329)	27	--	33	--	23	18 Mínimo
Punto de Ablandamiento de R y B, °C (ASTM D36)	59.0	59.5	59.5	60.0	58.5	52 - 74 (125-165 °F)
Lápiz de Proyección @ 25°C (ASTM D217)	39	--	46	--	50	25 - 70

Tipos de Hormigón Asfáltico Engomado (RHMA), Mezclas Calientes

- Gradación densa (uso limitado por Caltrans)
- Granulometría discontinua
- Granulometría abierta
- Granulometría abierta (Aglomerante Alto, HB)

Comparación de Gradación de Agregados

Granulometría Abierta | Granulometría Discontinua | Granulometría Densa

Mezclas de Granulometría Densa (RHMA-D)

- Uso temprano
  - Mejoras de desempeño limitadas en comparación con el costo
  - Espacio vacío no adecuado para acomodar suficiente aglomerante AR para modificar el comportamiento
- Se interrumpió el uso con aglomerante de alta viscosidad (mezcla sobre el terreno)
- Adecuado para uso con aglomerantes modificados CRM sin agitación (mezcla terminal), tal como el MB

Mezclas de Granulometría Discontinua (RHMA-G)

El RHMA-G es el tipo de mezcla RHMA más Usado

Propósito - mezcla estructural que proporciona mayor resistencia a:

- Surcos
- Fatiga
- Agrietamiento por reflexión
- Envejecimiento por oxidación

Mezclas de Granulometría Discontinua (RHMA-G)

- Las estipulaciones especiales estándar para RHMA-G con alta viscosidad (mezcla en terreno), se están actualizando los aglomerantes AR para abordar la implementación de aglomerante PG.

Las revisiones incluyen:

- Eliminar los métodos de prueba del cuerpo SSP, desarrollar procedimientos de laboratorio adecuados para análisis de tamizado CRM y medir la viscosidad rotativa del aglomerante AR
- Formatear SSP para inclusión en la sección 39 de las especificaciones estándar de Caltrans

Mezclas de Granulometría Discontinua (RHMA-G)

- Ajustes Realizados al Método de Diseño de mezcla Hveem (CT 367), incluyendo:
  - Modificar los requisitos de gradación de agregados (en bruto), especialmente para tamizado de 600 **µm,** para facilitar lograr el VMA mínimo (18%)
  - Añadir máximo límite de VMA del 23%
  - Probar 3 ladrillos de aglomerado de carbón en cada contenido de aglomerante, usar valores medias para cálculo y esquemas

Mezclas de Granulometría Discontinua (RHMA-G)

- Ajustes a Método de diseño de mezcla Hveem, continuación
  - El diseño de contenido de vacíos de aire puede variar entre el 3% y el 5% según el índice de tráfico y el clima, y de acuerdo a lo definido por el Ingeniero en las estipulaciones especiales del proyecto
  - De todas formas es necesario un contenido mínimo de aglomerante AR del 0,7% por peso de agregado seco para proporcionar durabilidad (debe tener suficiente contenido de aglomerado para entregar los beneficios de desempeño esperados)

Mezclas de Granulometría Discontinua (RHMA-G)

Ajustes a Método de diseño de mezcla Hveem, continuación

- Usar los procedimientos de laboratorio de Caltrans LP-1 hasta LP-4 para los cálculos volumétricos
- Proporcionar datos de vacíos rellenados con asfalto (VFA) y proporción de polvo solo a título informativo
- Calcular el media de peso por unidad, estabilidad, % de vacíos de aire, VMA y VFA, versus el contenido de aglomerante en el asfalto engomado

Mezclas de Gradación Abierta (RHMA-O, RHMA-O-HB)

- Las estipulaciones especiales estándar para RHMA-O y RHMA-OHB también están en proceso de actualización para incorporar la implementación de aglomerantes PG
- Los cambios son similares a los de RHMA-G, pero con menos impacto en el método de diseño de mezcla
- Los efectos de la gradación CRM y el contenido en el aglomerante tienen relativamente poco efecto en la estructura de vacíos de las mezclas de gradación abiertae

Mezclas de Granulometría Abierta (RHMA-O)

- Los RHMA-O han sido diseñados para proporcionar una superficies de drenaje libre (menos salpicaduras, rociado e hidrodeslizamiento) que mantiene buenas características de fricción en condiciones secas o húmedas
- Esas mezclas no se consideran elementos estructurales por lo que no se aplica una reducción de espesor
- Los RHMA-O se suelen colocar en levantamientos finos, con un espesor nominal de 24 a 30 mm

Mezclas de Granulometría Abierta (RHMA-O)

- No se recomienda usar mezclas de granulometría abierta donde haya una cantidad de tráfico constante o vehículos que dan la vuelta, tales como carreteras urbanas o en aparcamientos
- Estos pavimentos de módulo poroso bajo son susceptibles a sufrir rasguños de neumáticos por movimientos simultáneos de frenado y girado, y a dañarse por los fluidos que se filtran de los vehículos
- Caltrans no usa RHMA-O en zonas con nieve

Diseño de Mezcla RHMA-O

- El diseño de mezcla RHMA-O se realiza en conformidad con la prueba 368 de California, con contenido de aglomerante para asfalto engomado fijado a 1,2 veces el contenido de alquitrán optimo para el grado de aglomerante PG designado
- Se usa una prueba de comprobación para verificar que el drenaje descendente del aglomerante no sea excesivo
- Si se anticipan desplazamientos largos, se debe comprobar el drenaje descendente en el laboratorio para conocer el tiempo de desplazamiento esperable

Mezclas de Granulometría Abierta (RHMA-O-HB)

- Las mezclas de RHMA-O-HB tienen mayor contenidode aglomerante (1,6 veces la necesaria para el asfalto PG en vez de 1,2)
- El aglomerante HB ofrece pista de fricción mejorada, durabilidad y desempeño debido a las películas de aglomerante AR más espesas
- La comprobación de drenaje descendente es incluso más importante en mezclas con más aglomerante
- RHMA-O-HB no drena tan libremente como RHMA-O debido a su mayor contenido de aglomerante, pero todavía posee más drenaje libre que DGAC

Estipulaciones Especiales Estándar (SSP)

- Lenguaje estándar usado en contratos de construcción para modificar, complementar e incorporar las Especificaciones Estándar de Caltrans
- Las Estipulaciones Especiales Estándar están siempre en proceso de creación y actualización para reflejar nuevos conocimientos de los materiales, destrezas y nuevos productos o procedimientos.

Mezclas de Granulometría Abierta

- RHMA-O y RHMA-O-HB ofrecen beneficios de seguridad, y han demostrado:
  - Permitir desplazamientos más suaves
  - Reducir significativamente el ruido de neumáticos
- Se están realizando estudios conjuntos de Caltrans/ADOT/FHWA para medir y documentar la reducción de ruido en un periodo de 10 años

SSP para RHMA-O

1. Panorama general
2. Materiales
3. Diseño de mezcla y proporciones
4. Revisión del diseño de mezcla RHMA
5. Control de calidad, muestreo y pruebas de contratistas

SSP para RHMA-O

6. Equipo para producción de aglomerante para asfalto engomado
7. Proporciones del aglomerante, agregados
8. Expansión y compactación
9. Medición y pago

Precaución

- Las especificaciones y métodos de diseño de mezclas discutidos en esta presentación se aplican al uso de aglomerante de alta viscosidad para asfalto engomado (mezcla sobre el terreno) en mezclas de granulometría discontinua y abierta RHMA
- Nunca se debe sustituir directamente aglomerantes que no requieren agitación (baja viscosidad, mezcla terminal) por aglomerantes de alta viscosidad en ninguna mezcla RHMA
- Los dos tipos distintos de aglomerantes modificados CRM tienen rangos de viscosidad muy distintos y se comportan de forma diferente en las mezclas calientes de hormigón asfáltico

Resumen

- Introducción de planes y especificaciones para proyectos de construcción
- Especificaciones de Caltrans para RHMA-G, RHMA-O y RHMA-O-HB
- SSP de Caltrans

¿Preguntas?

El Principio

Mantener los caminos en buen estado con materiales de asfalto para pavimentación

http://www.cp2info.org/center

¡El futuro se decide hoy!!

Aplicaciones de Neumáticosde Desecho en Ingeniería Geotécnica

Por el CP2 Center y sede Chico de CSU

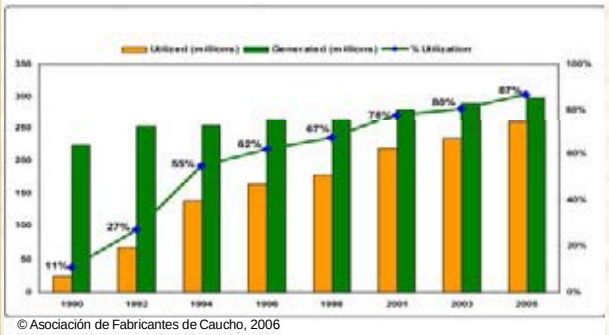
CIVIL 411 Mecánica de Suelos

Esquema

- Trasfondo
- Beneficios de Usar Materiales de Neumáticos Desechadosg
- Propiedades Físicas de Migas y hilos de Neumáticos
- Aplicaciones de Neumáticos de Desecho en Ingeniería Geotécnica
- Ejemplos de Estudios de Caso
- Resumen

Trasfondo

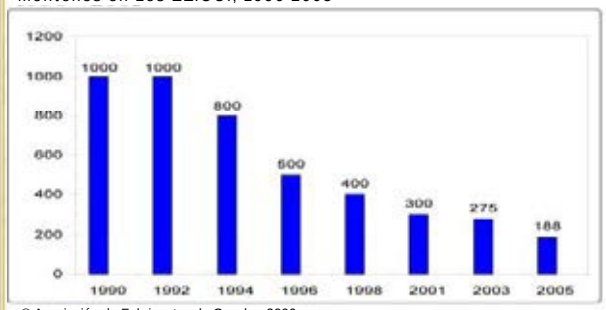
Tendencias de Gestión de Neumático Triturado en EE.UU., 1990-2005



© Asociación de Fabricantes de Caucho, 2006

Trasfondo

Millones de Neumáticos Desechados Siguen Acumulándose en Montones en Los EE.UU., 1990-2005

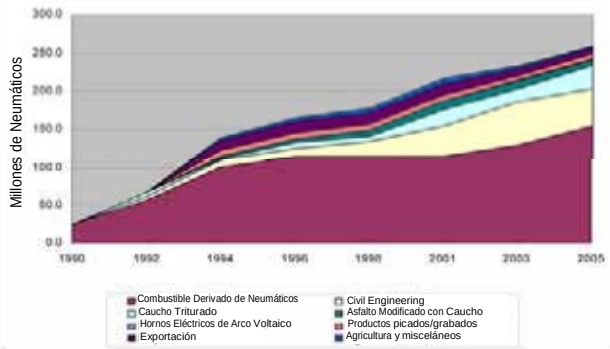


© Asociación de Fabricantes de Caucho, 2006

Los incendios de neumáticos liberan metales pesados y otros componentes peligrosos

- Arsénico
- Cromo
- Plomo
- Manganeso
- Níquel
- Mercurio
- Cadmio
- Aceite Pirolítico

Tendencias de Mercado Para Neumático Triturado en EE.UU., 1990-2005



© Asociación de Fabricantes de Caucho, 2006

Agregados Derivados de Neumáticos (TDA)

Las piezas de neumático procesado tienen una forma consistente y miden generalmente entre 25 mm (1 pulgada) y 300 mm (12 pulgadas) de tamaño.

Propiedades Físicas de los TDA

- Peso ligero (1/3 del suelo)
- Baja presión terrenal (1/2 del suelo)
- Buen aislamiento térmico (8 veces mejor)
- Buen drenaje (10 veces mejor)
- Comprimible
- Durable

Los Beneficios de Usar Neumáticos de Desecho

- Ayuda al deshecho de neumáticos de chatarra
- Evita la quema de neumáticos y protege el medio ambiente
- Preserva agregados valiosos
- Usa propiedades de ingeniería únicas de los materiales de neumáticos de desecho

Aplicaciones en Ingeniería Geotécnica

- Relleno para muros de contención y soportes de puentes
- Relleno ligero para cementaciones y relleno de subsuelo
- Aislamiento de Base para Carreteras
- Reparación de pendientes

Relleno y Cementación de Base

- Los hilos de neumático pueden usarse para construir cementaciones en suelos débiles y comprimibles
- Los hilos de neumático son adecuados para esta aplicación debido a su peso ligero.
- Para la mayoría de proyectos, el uso de tiras de neumático como material de relleno ligero es significativamente más barato que otras alternativas.
- El relleno de subsuelo y las cementaciones incluyen la protección de carreteras de la erosión, la mejora de la estabilidad de pistas de de gran pendiente en las autopistas, y el refuerzo de arcenes.

Relleno para Soportes de Muros y Puentes

- El peso ligero de los hilos de neumático reduce la presión horizontal y permite construir muros más finos y más baratos
- Los hilos de neumático también puede reducir problemas con la acumulación de agua y escarcha detrás de los muros porque son de drenaje libre y ofrecen buen aislamiento térmico

Aislamiento de Base para Carreteras

- En climas fríos, el exceso de agua puede eliminarse cuando los suelos de base se descongelen.
- Colocar una capa de tiras de neumático de 6 a 12 pulgadas bajo una carretera puede evitar que el terreno bajo la superficie se congele.
- Además, la alta permeabilidad de las tiras de neumático permite que el agua se drene desde debajo de las calles, evitando así el daño a su superficie.

Reparación de Pendientes

- Cuando ocurren un desprendimiento de tierra en una carretera:
  - Con frecuencia es necesario excavar el material desplazado para lograr un suelo más estableesliding
  - Entonces se debe reconstruir la pendiente y la carretera en partes superficiales compactas llamadas elevadores
  - Normalmente se hacen mejoras de drenaje a la pendiente para mejorar su estabilidad
- Los TDA tienen propiedades que necesitan los ingenieros civiles, directores de obras públicas y contratistas.
  - El poco peso de los TDA requiere menos excavación
  - Pueden usarse diseños más costo económicos

Caso de Estudio para un Relleno Posterior de Muro de Contención

Muro 119, Riverside, CA

- PROBLEMA: Ensanchamiento de la zona oeste de la Ruta 91 usando TDA: ¿es tan efectivo como un relleno de suelo típico? ¡SÍ!
- Instrumentación: Instalación de cuatro tipos de indicadores: válvula de tensión, célula de presión, sensor de temperatura y medidor de inclinación

Muro 119, Construcción de un Muro De Contenció

Muro 119, Instalación del Medidor de Tensión

Muro 119, Instalación de la Célula de Presión

Muro 119, Instalación del Sensor de Temperatura

Muro 119, Instalación del medidor de inclinación

Muro 119, Colocación del TDA

Muro 119, Compactación del TDA

Muro 119, Terminado

Estudio de Caso para un Relleno Ligero de Cementación

Intercambio de Dixon Landing

- PROBLEMA: Cementación Construida en Plataforma de Barro
- SOLUCIÓN: Uso de TDA para el núcleo de la cementación
- SOLUCIÓN MÁS BARATA: se ahorraron $230.000 USD

Intercambiador de Dixon Landing, Cruce

Intercambiador de Dixon Landing, Vertido del TDA

Intercambiador de Dixon Landing, Extensión del TDA

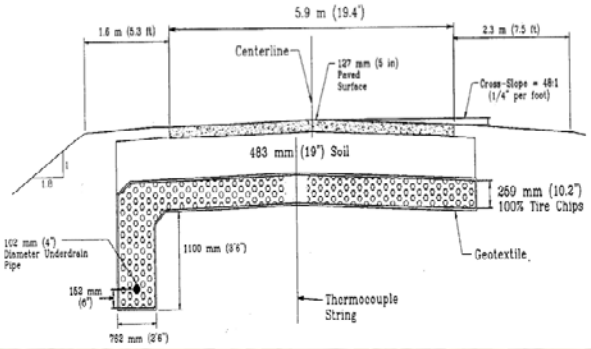
Intercambiador de Dixon Landing, Compactación del TDA

Aislamiento de Base para Carreteras

Carretera de la granja Witter, Orono, Maine

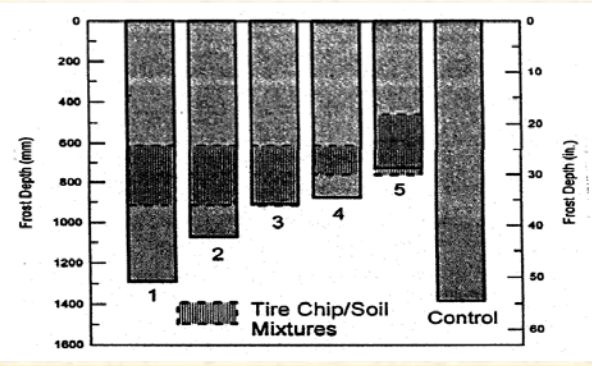
- PROBLEMA: La escarcha en climas fríos puede causar el levantamiento de la carretera y puede agrietar el asfalto cuando el hielo se derrite y el agua debilita la base de la carretera lo que puede causar surcos en la gravilla y agrietamiento del asfalto.
- SOLUCIÓN: Usar los TDA como cimiento, porque posee un materia de aislamiento térmico que es ocho veces mejor que la gravilla y es más permeable

Camino de la granja Witter, Cruce Típico



Witter Farm Road, colocación y compactación de TDA

Witter Farm Road, Penetración de escarcha en el invierno 1996/7



Estudio de Caso para Reparación de Pendiente

Marina Drive, Ukiah, CA

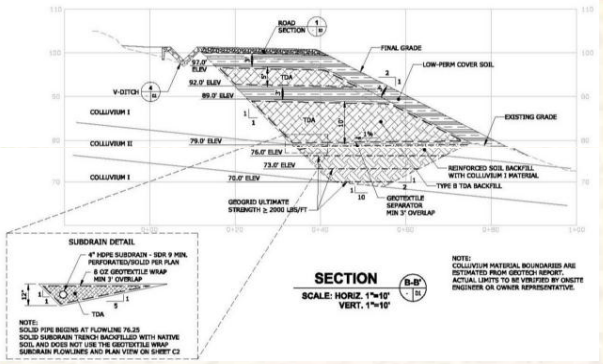
- PROBLEMA: Pendiente de la carretera dañó la carretera haciéndola inutilizable
- SOLUCIÓN: Usar TDA como reemplazo de un suelo para relleno típico

Marina Drive, Parte Dañada de la Carretera

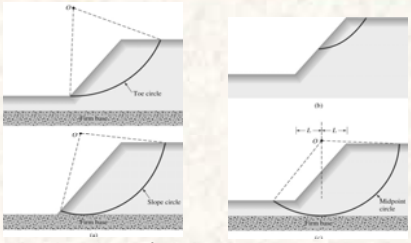
Marina Drive, Parte Dañada de la Carretera

Marina Drive, Parte Dañada de la Carretera

Marina Drive, Ilustración Propuesta



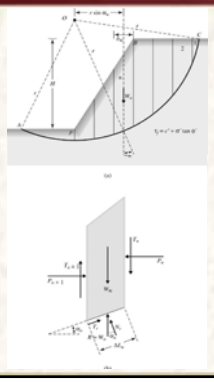
Modo de Circular y Fallo General



(a) Fallo de la pendiente (círculo de pie, círculo de pendiente)
(b) Fallo superficial de la pendiente
(c) Fallo de la base (círculo de medio punto)

Métodos de análisis:
1. Procedimiento de masa
2. Método de rebanadas

Método Normal de Rebanadas



Dejar que el momento de conducción y resistencia sobre O sea igual:

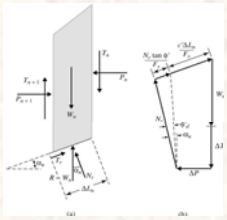
$$\sum_{i=1}^{n} W_i r \sin\alpha_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{F_s}\left[c' + \frac{W_i \cos\alpha_i}{\Delta L_i}\tan\phi'\right](\Delta L_i)(r)$$

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[c' + \frac{W_i \cos\alpha_i}{\Delta L_i}\tan\phi'\right](\Delta L_i)(r)}{\sum_{i=1}^{n} W_i r \sin\alpha_i}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[c'\Delta L_i + W_i \cos\alpha_i \tan\phi'\right]}{\sum_{i=1}^{n} W_i \sin\alpha_i}$$

Se requiere método de ensayo y error para encontrar la superficie de fallo con la menor Fs

Método Simplificado de Bishop



Resistencia al corte:

$$F_i = W_i \sin\alpha_i + \Delta L_i + X_i \frac{\tan\phi'_i}{F_s} + \frac{c'\Delta L_i}{F_s} \quad (1)$$

Fuerza normal, resuelta al sumar las fuerzas verticales en el polígono de fuerza que se muestra:

$$N_i = \frac{W_i - \Delta T - \frac{c'\Delta L_i}{F_s}\sin\alpha_i}{\cos\alpha_i + \frac{\tan\phi'\sin\alpha_i}{F_s}} \quad (2)$$

Dejar que el momento de conducción y resistencia sobre O sea igual:

$$\sum_{i=1}^{n} W_i r \sin\alpha_i = \sum_{i=1}^{n} T_i r \quad (3)$$

Sustitución de Eqx. (1) y (2) en (3) y resolver Fs:

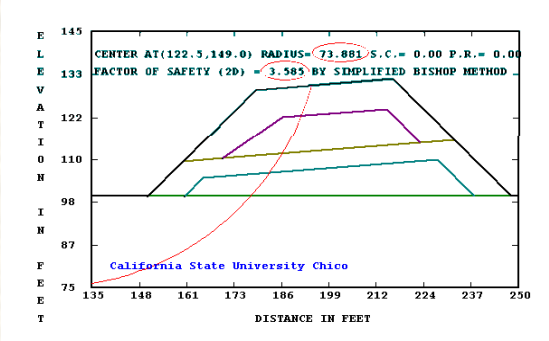
$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(c'b_i + W_i \tan\phi'\right)/m_{\alpha(i)}}{\sum_{i=1}^{n} W_i \sin\alpha_i}, \text{ where } m_{\alpha(i)} = \cos\alpha_i + \frac{\tan\phi' \sin\alpha_i}{F_s}$$

Ejemplo de problema para estudiantes sobre análisis de pendiente para relleno de cementación

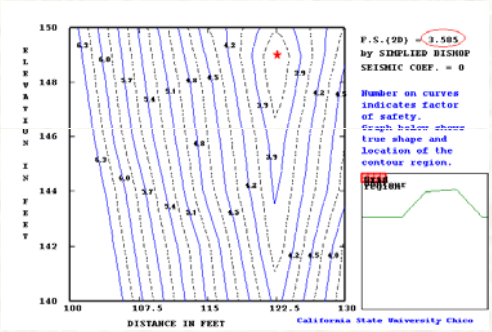
Encontrar el factor de seguridad para la pendiente en el siguiente cementación:

SECCIÓN DE CEMENTACIÓN TÍPICA
(Unidad de distancia m)

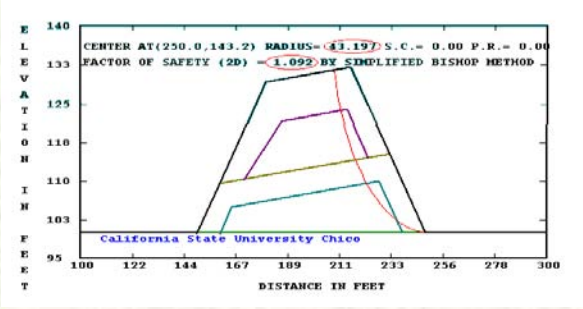
Análisis de lado izquierdo con SBM



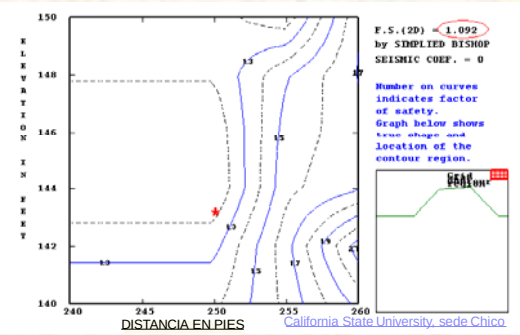
Análisis de lado izquierdo con SBM



Análisis de lado derecho con SBM



Análisis de lado derecho con SBM



RESUMEN

- Introducción a las Aplicaciones de TDA
- Aplicaciones de TDA en ingeniería geotécnica
- Proyectos Exitosos con TDA
- Ejemplo de problemas

GRACIAS
El Principio
Aplicaciones geotécnicas ecológicas con TDA
http://www.cp2info.org/center

Recibe Muchos Nombres Distintos en la Literatura

- Hormigón de Caucho Triturado (CRC)
- Hormigón Engomado Incluido (RIC)
- Hormigón engomado
- Hormicaucho
- Hormigón Relleno de Caucho de Neumático

Efectos Potenciales de añadir caucho al hormigón

- Reduce la resistencia comprimida
- Puede Aumentar la Ductilidad
- Aumenta la Dureza (capacidad para absorber energía)
- Puede Reducir el Agrietamiento
- Reduce el Peso Unitario del Hormigón
- Reduce la Expansión/Contracción Térmica
- Puede Reemplazar los Agentes de Entrada de Aire en Ambientes Fríos
- Mejora el Aislamiento (pero Disminuye la Masa Térmica)
- Reduce la Transmisión del Sonido

Aplicaciones potenciales del hormigón engomado incluido

- TEl caucho de neumático puede reemplazar la entrada de aire en aplicaciones en climas fríos
- RIC puede ser más flexible y resistente a las grietas en pavimentos ligeros
- RIC puede amortiguar la vibración y mitigar la transmisión del sonido.

Diseño de Mezcla

El diseño de mezcla debe basarse en el método de volumen absoluto, reemplazando el agregado material con partículas de neumático de características similares de tamaño (granulometría). Esto se consigue usando la gravedad específica de los agregados.

Parámetros de Diseño de Mezcla para - RIC

- Tipos de Partículas de Caucho
- Tamaño de las Partículas de Caucho y Agregado
- Granulometría de Partículas de Caucho
- Gravedad específica de las partículas de caucho
- Módulo de Fineza (Agregado Fino)
- Contenido de Caucho por Mezcla
- Relación Agua-Cemento

Ejemplo de Diseños de Mezcla de la Literatura

Autor	Tipo de Goma	Contenido de la Goma	Método de Diseño de Mezcla
Kaloush et. al.	Goma Pulverizada de 1mm	0, 50, 100, 150, 200, y 300 lb/cuyd	Reemplaza agregado fino con caucho triturado por peso, relación aumentada de w/c
Fedroff et. al.	Polvo extra fino	0, 10, 20 y 30%	Por peso del cemento en la mezcla ajustada a una relación w/c para obtener 3 a 5 pulgadas de caída
Tantala et.al.	Goma Pulida	5 y 10%	Reemplaza 5% y 10% de agregado grueso con goma pulida por volumen
Li et. al.	Goma Granulada Cirogénica < 2mm	33%	Reemplazar 33% de agregado fino por volumen
Schimizze et.al.	Goma Reciclada Fina/Gruesa	5% de mezcla de diseño por peso	Bajar tanto el agregado fino 1 y 2 el agregado fino y grueso para obtener 5% de goma por peso
Biel and Lee	Virutas de Goma menores de 3/8"	0 a 90% en incrementos de 15%	Reemplazar el agregado fino con migas de goma por volumen da de 0 a 25% de goma por volumen en mezcla
Eldin et.al.	Chips de neumático granulado, caucho en migajas fino	0, 25, 50, 75, 100% por volumen	Hacer ensayos con especímenes colocando agregado grueso o fino

Dificultades para Interpretar los Resultados de la Literatura

- Diferentes tipos de partículas de neumáticos
- Diferentes métodos de diseño de mezcla
- Diferentes pre-tratamientos de partículas de neumáticos
- Diferentes procedimientos de prueba

¡Solo se pueden extraer conclusiones generalesde los resultados publicados en la literatura científica!

Resumen de las propiedades de ingeniería del hormigón engomado según la literatura disponible

- Resistencia Comprimida
- Resistencia de Tracción (Cilindro Doble)
- Resistencia Flexional (Módulo de Ruptura)
- Peso Unitario
- Contenido de Aire
- Rigidez
- Ductibilidad
- Dureza
- Coeficiente de Expansión Térmica
- Durabilidad
- Características de mitigación

Resistencia comprimida del hormigón engomado

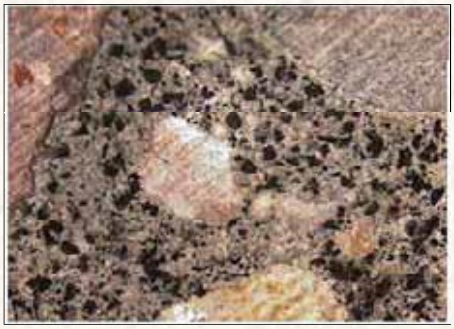
- El caucho es más débil y menos rígido que los agregados minerales a los que reemplaza, lo que reduce la resistencia comprimida
- ISe ha descubierto que aumentar el contenido de caucho también aumenta el contenido de aire, lo que a su vez reduce la resistencia comprimida
- Las características de unión entre la pasta de cemento y el caucho también pueden reducir la resistencia comprimida
- Como siempre, relación agua/cemento, peso unitario, destreza y resistencia comprimida que afecta la fijación

Mezcla de Ingredientes para Hormigón de Caucho Triturado (Kaloush et. al. 2004)

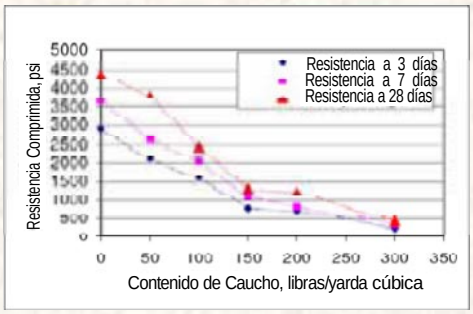
ID Proyecto / Mezcla #	Peso Unitario libras/cu pies	Relación W/C	Peso en seco de los materiales (lb/yarda cúbica)		
			Cemento	FA	CA
0 libras por yarda Cúbica (Ensayo)	147.8	0.42	525	1417	1731
50 libras por yarda Cúbica (Ensayo)	140.1	0.44	525	1367	1731
100 libras por yarda Cúbica (Ensayo)	135.7	0.45	525	1317	1731
150 libras por yarda Cúbica (Ensayo)	125.7	0.46	525	1267	1731
200 libras por yarda Cúbica (Ensayo)	126.5	0.47	525	1217	1731
300 libras por yarda Cúbica (Ensayo)	109.2	0.48	525	1117	1731

Vista Transversal de Muestras de Hormigón (Kaloush et. al. 2004)

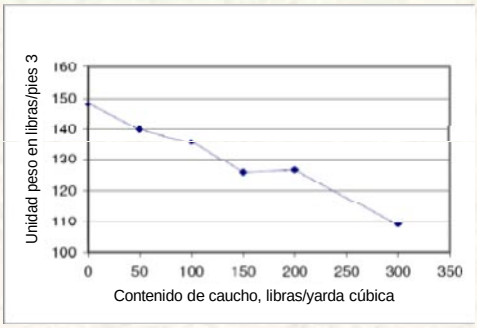
Vista Microscópica de la Distribución del Caucho Triturado en 400 libras CR/Yarda Cúbica. Mezcla (Kaloush et. al. 2004)



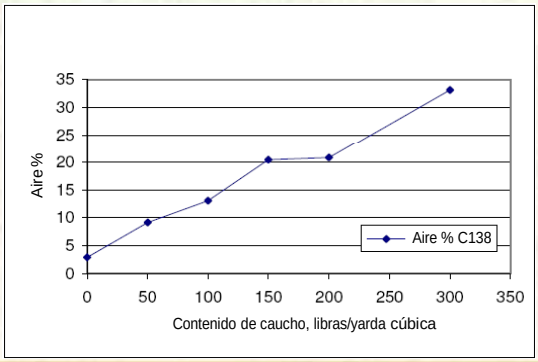
Efecto del Contenido de Caucho para la Resistencia Comprimida o (Kaloush et. al. 2004)



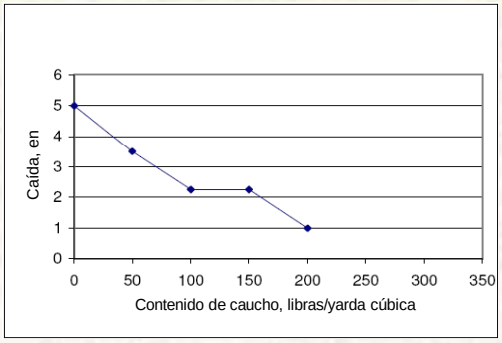
Efecto del Contenido de Caucho para la Resistencia Comprimida o (Kaloush et. al. 2004)



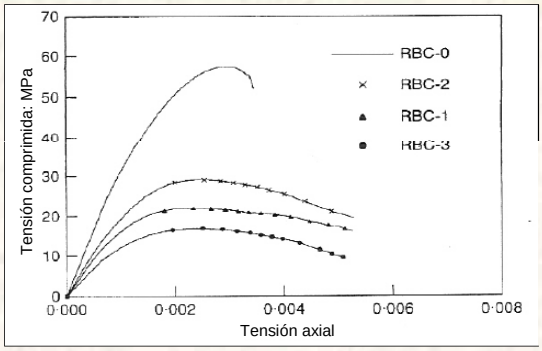
Efecto del Contenido de Caucho en Hormigón con Contenido de Aire (Kaloush et. al. 2004)



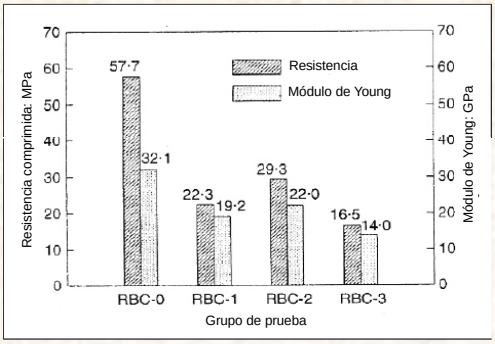
Efecto del Contenido de Caucho para la Caída del Hormigón (Kaloush et. al. 2004)



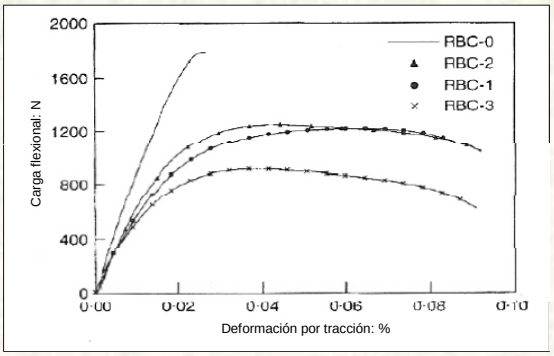
Curvas de Tensión de Deformación Comprimida o (Li et. al. 1998)



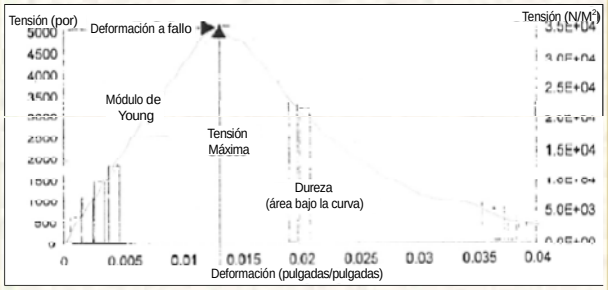
Resistencia Comprimida y Rigidez
(Li et. al.1998)



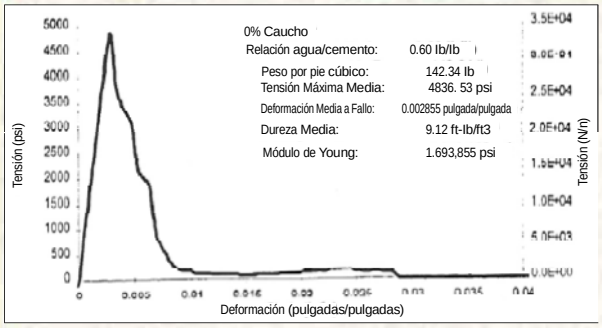
Resistencia Flexional
(Li et. al. 1998)



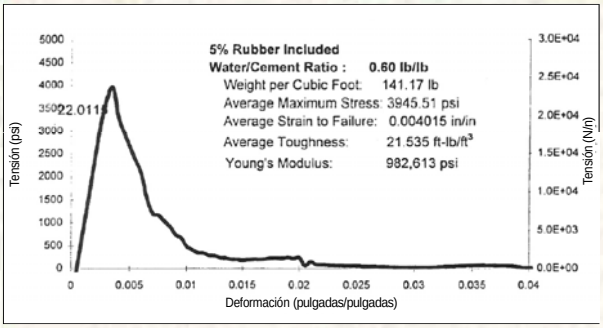
Curvas de Deformación y Tensión de Compactación Típicas del Hormigón o
(Tantala et. al. 2002)



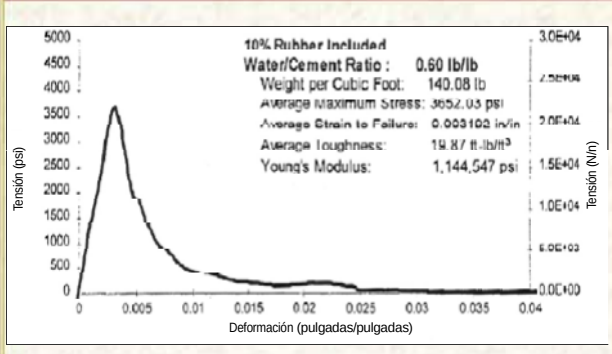
Curvas de Deformación y Tensión de Compactación Normales del Hormigón o
(Tantala et. al. 2002)



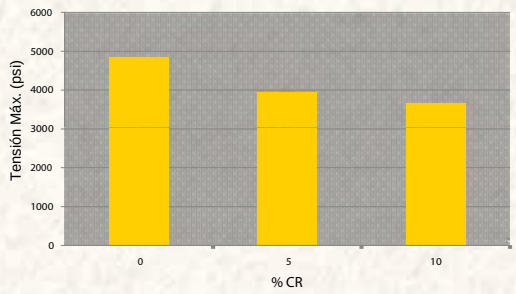
Curvas de Deformación y Tensión del 5% Hormigón Engomado o
(Tantala et. al. 2002)



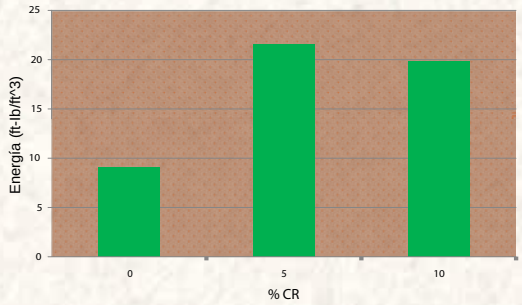
Curvas de Deformación y Tensión del 10% Hormigón Engomado o
(Tantala et. al. 2002)



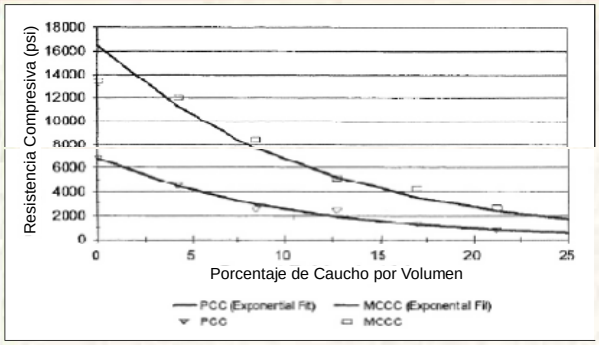
Tensión Comprimida Máxima



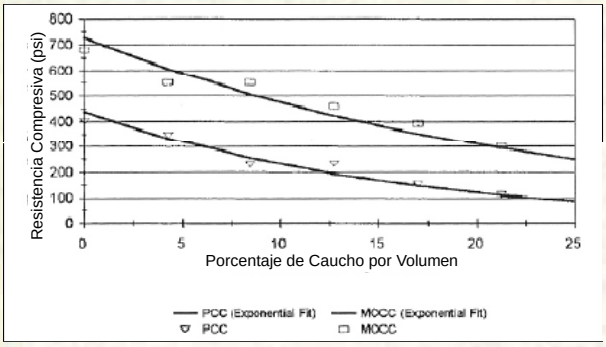
Dureza



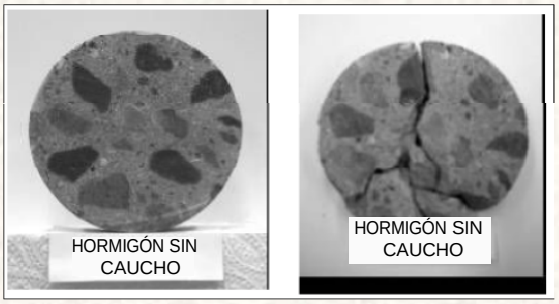
Resistencia Comprimida versus Contenido de Caucho (Biel et. al. 1994)



Resistencia de Cilindro Doble versus Contenido de Caucho o (Biel et. al. 1994)

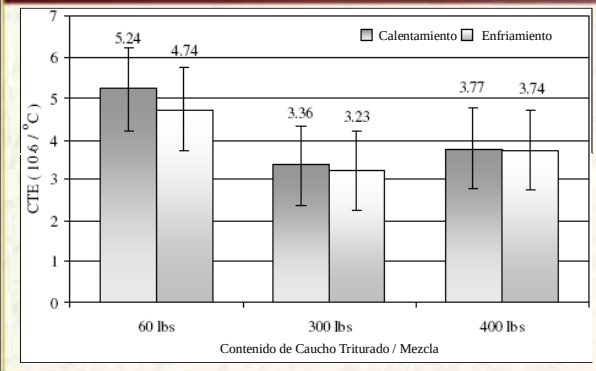


Fallo de Deformación por Tracción del Hormigón Normal o (Kaloush et.al. 2004)



Fallos de Deformación por Tracción del Hormigón de Caucho o (Kaloush et.al. 2004)

Coeficiente de Expansión Térmica - CRC
(Kaloush et.al. 2004)

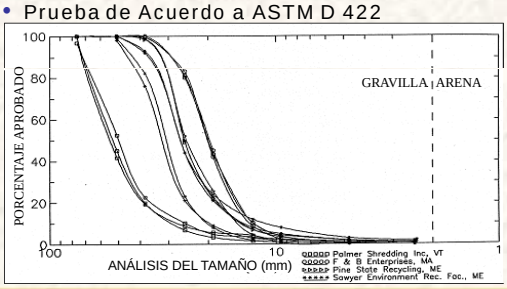


Propiedades de Ingeniería del Caucho de Neumático para el Diseño de Mezcla Con hormigón

- Gradación (Normalmente de Granulometría Uniforme)
- Gravedad Especifica
- Capacidad de Absorción
- Peso Unitario

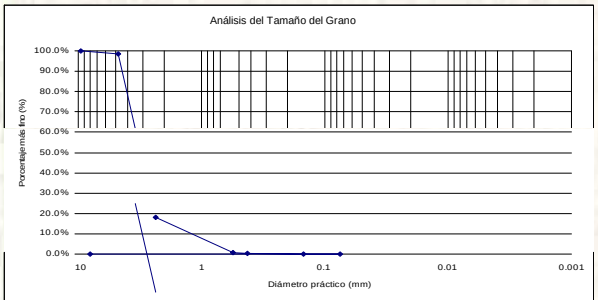
Gradación

- Gradación Generalmente Uniforme (Mismo Tamaño)
- El Tamaño Máximo Varia de Acuerdo a la Fabricación
- Prueba de Acuerdo a ASTM D 422



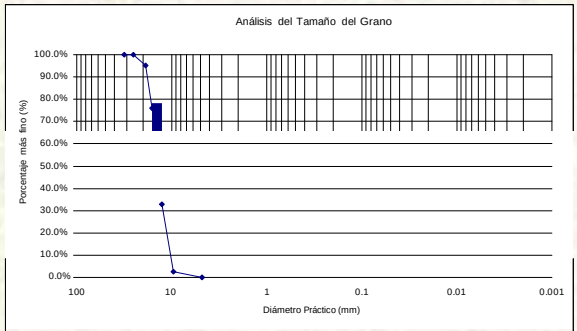
Caucho Triturado GSD

Caucho Triturado GSD



Muestra de Pulidos de Neumático

Pulidos de Neumático GSD



Gravedad Específica y Capacidad de Absorción

Tipo de jirón de neumático	Gravedad especifica: Masa	Gravedad especifica: Superficie seca sat.	Gravedad especifica: Aparente	Agua: Capacidad de absorción (%)	Referencia
Vidrio cinturado	----	----	1.14	3.8	Humphrey et al. (1992)
Vidrio cinturado	0.98	1.02	1.02	4	Manion & Humphrey (1992)
Acero cinturado	1.06	1.01	1.10	4	Manion & Humphrey (1992)
Amalgama	1.06	1.16	1.18	9.5	Bressette (1984)
Amalgama (Pine State)	----	----	1.24	2	Humphrey et al. (1992)
Amalgama (Palmer)	----	----	1.27	2	Humphrey et al. (1992)
Amalgama (Sawyer)	----	----	1.23	4.3	Humphrey et al. (1992)
Amalgama	1.01	1.05	1.05	4	Manion & Humphrey (1992)
Amalgama	----	0.88 to 1.13	----	----	Ahmed (1993)

Diseño de Mezcla de Hormigón Patentada

- 100 partes por peso de cemento
- 100-200 partes por peso de arena
- 200-400 partes de peso de agregados gruesos
- 15-30 partes por peso de partículas desmenuzadas con caucho, fibras y acero obtenido de neumáticos de desecho enteros
- 20-70 partes por peso de agua
- Ceniza volante
- Super plastificante

Laboratorio de Hormigón Reforzado

- Se requiere laboratorio para los usos principales de ingeniería civil como parte de un diseño de clase superior para el hormigón reforzado
- Se realizan experimentos con una gama de relaciones agua/cemento de 0,4, 0,55 y 0,7
- A cada uno de los tres laboratorios se le asigna un porcentaje de caucho diferente: 10, 20 y 20% por volumen
- Se reemplaza el agregado fino por caucho triturado, y el agregado grueso con pulidos de caucho por volumen suponiendo un gravedad específica de 1 para el caucho de neumático.

Objetivos de Laboratorio

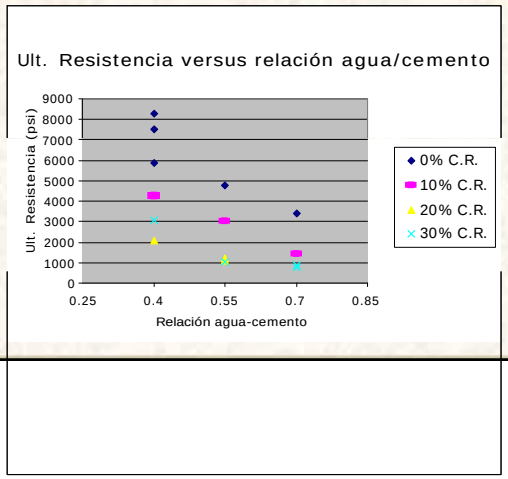
Estudiar los efectos de añadir partículas de neumático a la mezcla asignada. Intentar determinar:

1. Resistencia Compresiva
2. Módulo de Elasticidad
3. Índice de Poisson
4. Contenido de Aire
5. Comentar su maleabilidad/segregación

Resultados

- En general los resultados fueron consistentes con los hallazgos de la literatura
- Los grupos de datos incompletos fueron asignados al mismo diseño de mezcla que se dio en clase para el hormigón normal, y algunos de los resultados no se registraron

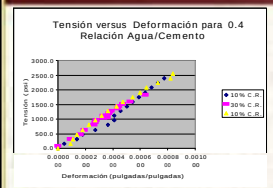
Resultados de Laboratorio de Hormigón

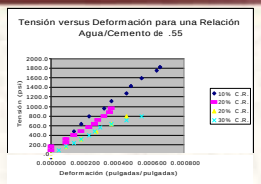


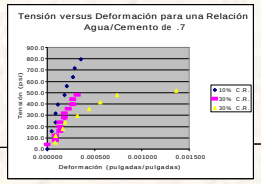
Compresímetro para E y μ

- UTM para aplicar una carga y fuerza de medida
- Sondas de dial para Deformación Longitudinal y Transversal

Curvas de Tensión-Deformación







Otros Resultados

- Resumen de comentarios
- No hay datos sobre deformación lateral, y por tanto no hay resultados para el índice de Poisson
- Se necesita otro ciclo de laboratorio...

Resumen

- Se ha realizado una cantidad importante de investigación sobre el uso de partículas de neumáticos de desecho en el hormigón de cemento Portland
- La resistencia comprimida y la rigidez del hormigón disminuyen de manera dramática al aumentar el contenido de caucho
- Sin embargo, se ha demostrado que la deformación por tracción, la ductilidad y la dureza aumentan con pequeñas cantidades de partículas de caucho

Aplicaciones Posibles

- Pavimento de servicio ligero (aceras, etc.)
- Mitigación de vibración
- Absorción de energía (terremotos)
- Aumenta la durabilidad de congelación/deshielo
- ¿Otros?

Referencias

- Aplicaciones de ingeniería civil usando agregados derivados del neumático Presentada por Dr. Dana Humpherey. Patrocinado por: California Integrated Waste Management Board - CIWMB
- Propiedades del Hormigón Engomado Triturado. Kamil E. Kaloush, Ph.D, P.E., Profesor asociado de Arizona State University ,Departmento de Ingeniería Civil y Medioambiental
- Propiedades Mecánicas del Hormigón Engomado Triturado de Neumáticos de Desecho David Fedroff, Shuaib Ahmad y Banu Zeynep Savas
- Propiedades del Hormigón con Partículas de Caucho De Neumático o. Z. Li, F. Li, and J. S. Magazine of concrete Research, 1998, 50, No. 4, Dec., 297-304
- Uso de Caucho de Desecho en Pavimentos de Hormigón para Uso Ligero o. Richard R. Shimizze, S.M.ASCE, James K. Nelson, M.ASCE, Serji N. Amirkhanian, M.ASCE y John A. Merden, A.M. ASCE.
- Partículas de Caucho de Neumático Como Agregado para Hormigón o. Neil N. Eldin, Ahmed B. Senouci. Journal of Materials in Civil Engineering, 5 (1993) 478-96.
- Comportamiento Casi-Elástico del Hormigón Engomado Incluido RIC Usando Caucho de Neumáticos de Desecho o Michael W. Tantala, University of Pennsylvania, John A Lepore, Ph.D., P.E, University of Pennsylvania, Iraj Zandi, Ph.D., P.E., University of Pennsylvania, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- Uso de Caucho de Neumático Reciclado en el Hormigón. Biel T.D. y Lee H. Infraestructura: Nuevos Materiales y Métodos de Reparación. Conclusiones de la Tercera Conferencia Sobre Materiales para Ingeniería Proceedings of the Third Materials Engineering Conference, San Diego, 1994, 351-358

¡Hazlo sé decide Hoy!

Problemas Medioambientales de Los Neumáticos de Desecho en Ingeniería Civil o

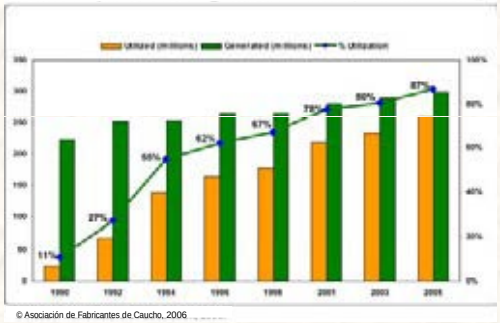
Departamento de Ingeniería Civil,
California State University, Chico

Esquemas

- Introducción
  - Montones
  - Quema de Neumáticos
- Neumáticos de Desecho en Aplicaciones de Ingeniería Civil
- Investigación de Evaluación Medioambiental
  - Evaluaciones de Laboratorio
  - Pruebas Sobre el Terreno
- Conclusiones y Recomendaciones

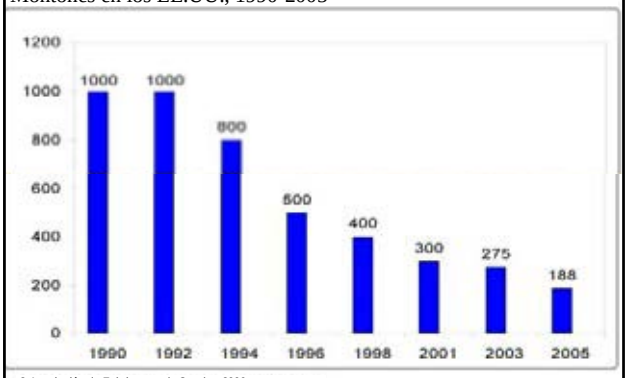
Trasfondo

Tendencias de Gestión de Neumático Triturado en EE.UU., 1990-2005



© Asociación de Fabricantes de Caucho, 2006

Millones de Neumáticos Desechados Siguen Acumulándose en Montones en los EE.UU., 1990-2005



© Asociación de Fabricantes de Caucho, 2006

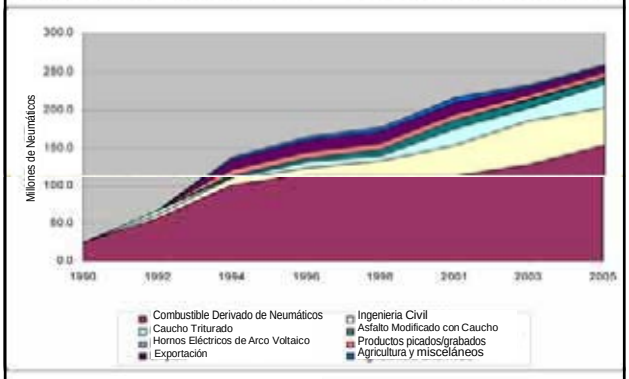
Quema de Neumáticos

El contenido de energía de un neumático de vehículo de pasajero medio es el equivalente a más de 2 galones de petróleo

Toxinas Liberadas Durante una Quema de Neumáticos

- La quema de neumáticos libera metales pesados y otros componentes tóxicos que van a parar a arroyos y se filtran a los pozos superficiales
  - Arsénico
  - Cromo
  - Plomo
  - Manganeso
  - Níquel
  - Mercurio
  - CadmioC
  - Aceite Pirolítico

Tendencias de Mercado para Neumático Triturado en EE.UU., 1990-2005



© Asociación de Fabricantes de Caucho, 2006

Propiedades de TDA en Aplicaciones de Ingeniería Civil

Tamaño	2 a 12 pulgadas
Peso	1/3 a 1/2 del peso de tierra
Volumen	1 yarda cúbica ≈75 neumáticos
Drenaje	10 veces mejor que el suelo bien granulado
Aislamiento	8 veces mejor que la gravilla
Presión Lateral del Muro de Cimientos	1/2 del de tierra

Aplicaciones de Ingeniería Civil

- Material de relleno ligero
- Relleno Posterior para Muro de Contención
- Relleno de Cementación y Reparación de Pendientes
- Capa de Aislamiento de Subsuelo
- Aplicaciones de Vertedero
- Campos de Drenaje de Sistema Séptico
- Mitigación de la Vibración

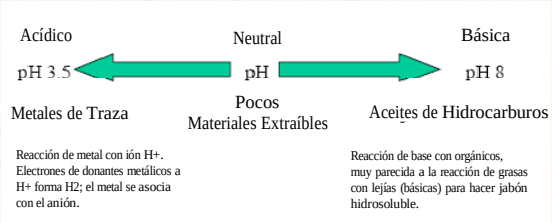
Inquietudes Medioambientales de las Aplicaciones de Ingeniería Civil

- Contaminación a las Aguas Subterráneas
- Riesgo de Incendio
- Desempeño a Largo Plazo
- Desempeño a Largo Plazo
- Resultados de Pruebas Sobre el Terreno

Pruebas de Laboratorio en Lixiviado de Neumático

- Caracterización Tóxica del Procedimiento de Lixiviado (TCLP)
- Toxicidad del procedimiento de extracción (EP Tox)
- Los neumáticos de desecho se suelen pre-cortar en un tamaño especifico y se sumergen en diferentes soluciones, y después se analiza el lixiviado
- Las pruebas de laboratorio pueden usarse como indicador de los tipos de contaminantes que puede producir un neumático desechado

Agencia Anticontaminación Minnesota Pollution Control Agency



Resultados del Estudio

- Ninguna de las muestras de lixiviado en el laboratorio supero el criterio de toxicidad de EP o el criterio TCLP
- En algunas muestras y para algunas condiciones de lixiviado, los contenidos de arsénico, cadmio, cromo, selenio y zinc superaron los límites permisibles recomendados (RAL, por sus siglas en inglés) fijadas por el departamento de salud de Minessota para el agua potable

Recomendación del Estudio

- El estudio recomendaba que el uso de neumáticos de desecho en la construcción de carreteras se limitará a la zona no saturada
- El diseño de carretera debería limitar la infiltración de agua a través de los neumáticos de desecho y debería promover el drenaje del agua de superficie hacia un lugar alejado del subsuelo con neumáticos de desecho

Informe Final del Departamento de Transportes de Virginia Sobre Metales Lixiviados en Neumáticos de Desecho

- El estudio estaba compuesto de dos partes: un año de lixiviado y pruebas TCLP
- Los resultados del lixiviado de dos semanas en un lixiviado que es aproximadamente siete veces más concentrado que los extractos normales de TCLP
- Sin embargo, un lixiviado más fuerte puede ser total o parcialmente compensado por el uso de partículas más grandes que las que requiere el método
- Las concentraciones de metales en el lixiviado estaba bien por debajo los límites reglamentarios de TCLP

Estudio del Departamento de Energía y Recursos Naturales del Estado de Illinois

- Los neumáticos troceados se sometieron a pruebas de toxicidad EP en los laboratorios DTC.
- En sus resultados, los niveles de compuestos orgánicos analizados fueron inferiores a los límites de detección en todos los casos
- Ninguno de los metales superaron los límites de toxicidad EP para la prueba EP TOX

Conclusiones de las Pruebas de Laboratorio

- Todos los resultados de laboratorio con distintas condiciones de lixiviado demostraron que las concentraciones de metales más altas tienden a aparecer en condiciones de menor ph (acídico)
- Los niveles más altos de compuestos orgánicos se presentan en condiciones de ph alto (básico)
- Tanto los componentes metálicos como los orgánicos estaban muy por debajo de los estándares TCLP y los estándares EP
- En total, estas pruebas de laboratorio indican que los neumáticos de desecho no son residuos peligrosos.

Estudios Sobre el Terreno

- Se cortaron los neumáticos de desecho en varios tamaños y se usaron en posiciones específicas en el camino
- Se obtuvieron muestras de tierra y agua en varias ocasiones
- Se estudió el impacto de los neumáticos de desecho para el medioambiente

Estudios Sobre el Terreno para Aplicaciones de Neumáticos de Desecho

- Impacto en el Aire
  - Libera compuestos orgánicos volátiles y semi volátiles (VOC y SVOC) cuando están calientes
  - Sin embargo, son iguales o menos que los del asfalto
  - Disminuye cuando el asfalto de caucho se enfría a temperatura de uso
  - Las migas de neumáticos también pueden liberar alergenos de látex, pero en cantidades manejables

Impacto en el Suelo

Agencia Anticontaminación de Minnesota o Minnesota Pollution Control Agency (1991)

- Los estudios sobre el terreno no han identificado diferencias significativas entre las áreas de neumático de desecho y las áreas de control para suelo de muestra y para un estudio biológico
- No se descubrieron rastros de los materiales extraídos encontrados en las pruebas de laboratorio previas en condiciones de ph extremo

Impacto en el Suelo

Departamento de Geología, Kent State University (1997)

- Las mezclas de tierra y neumático se pueden usar de forma segura como material de relleno ligero y en situaciones donde se requiera mejorar las características de drenaje

Impacto en el Agua

- Cuando se estudia el impacto de los neumáticos de desecho en el agua, tradicionalmente se suelen considerar tres ubicaciones de las migas de neumático.

- a: capa freática sobre superficie
- b: capa freática subterránea
- c: agua superficial

Capa Freática Sobre Superficie

Estudio del Departamento de Transportes de Wisconsin

- Hay poca o ninguna probabilidad de que las migas de neumático produzcan un lixiviado importante de sustancias que supongan un peligro para la salud pública como el plomo o el bario
- Los niveles de plomo, zinc, y manganeso fueron altos

Capa Freática Sobre Superficie

Chenette Engineering, Inc.

- Se instalaron neumáticos desmenuzados en lugar de piedra triturada en un reemplazo del lugar de depósito sobre el terreno
- Este sistema se instaló en diciembre de 1991 y se informó de los resultados del estudio de seguimiento a dos años en 1993
- Como se esperaba, los niveles iniciales de hierro y plomo fueron elevados; pero las concentraciones de los dos metales disminuyeron rápidamente bajo los estándares para aguas subterráneas de Vermont

Capa Freática Sobre Superficie

University of Maine (1997)

- Mejor seguimiento con pozos de control
- No hubo prueba de que las migas de neumático aumentaran el nivel de sustancias por sobre el nivel del estándar principal para agua potable
- No hubo evidencia de que las migas de neumático aumentaran los niveles de aluminio, zinc, cloro o sulfato, que están incluidos en los estándares secundarios (estéticos) para agua potable
- En algunos casos los niveles de hierro y magnesio pueden superar los estándares secundarios
- Los resultados estuvieron bajo los límites de detección para todos los compuestos

Capa Freática Subterránea

- Aumentó la concentración de hierro en tres sitios de prueba
- Dentro de la zanja de miga de neumático, el contenido de hierro fue de una magnitud hasta dos veces más alta que el estándar secundario para agua potable
- No pareció que el hierro se hubiese filtrado hacia abajo en ninguno de los sitios

Capa Freática Subterránea

- El contenido de manganeso también aumento con las migas de neumático
- Los niveles de manganeso superaron constantemente el estándar secundario de agua potable en el pozo de prueba dentro de la trinchera de miga de neumático
- A diferencia del hierro, sí se observó que el manganeso se filtrara hacia al flujo de aguas subterráneas

Capa Freática Subterránea

- El contenido de zinc también aumentó con las instalaciones de miga de neumático; sin embargo, la concentración estuvo muy por debajo del estándar para agua potable
- También aumentaron las concentraciones de cromo por la presencia de las migas de neumático, pero solamente en el sitio de turba
  - Los niveles de cromo estuvieron siempre por debajo del estándar principal para agua potable

Conclusiones Sobre la Contaminación de Aguas Subterráneas

- Los niveles de hierro superaron el nivel permitido recomendable (RAL). Sin embargo, considerando que el hierro es un elemento secundario permisible en el agua potable, no supone problemas graves para el medioambiente.
- Entre otros compuestos metálicos y orgánicos, parece haber alguna discrepancia; esto puede depender de las condiciones locales de ph del suelo, las condiciones de infiltración del agua y otros factores del suelo
- Se debería establecer un contenido máximo permisible de acero para el caucho de neumático reciclado

Estudio Biológico

Agencia Anticontaminación de Minnesota o Minnesota Pollution Control Agency (1990)

- No hubo diferencias detectables en ninguna de las zonas de estudio en comparación con las áreas de control
- Las pruebas de caracterización de toxicidad (TCT) concluyeron que los estudios biológicos futuros seguramente no indicarían diferencias detectables en los sitios de neumático en comparación con los sitios de control

Estudio de Toxicidad

- **Abernethy (1994)**
  - **Los niveles de zinc encontrados fueron 0.023~0.025 mg/L, lo que es consistente con a composición química de los neumáticos**
- **Nelson (1994)**
  - **Se halló zinc presente en niveles potencialmente tóxicos**
  - **También había presencia de cadmio, cobre y plomo a niveles significativamente superiores que el de los sitios de base**

Conclusiones

- Normalmente, el caucho reciclado derivado de neumático triturado es un material reciclable seguro
- Una inquietud frecuente es que los niveles de hierro y magnesio suelen ser elevados. Estos elementos se especifican en la norma estándar secundaria para agua potable basada en razones estéticas (gusto)
- Los niveles de contaminantes metálicos tienden a aumentar en condiciones de ph bajo, mientras que el nivel de compuestos orgánicos aumenta cuando el valor ph es alto

Recomendaciones

- Generalmente, es razonable recomendar el uso de neumáticos de desecho reciclados en aplicaciones de ingeniería civil
- Es importante reconocer que el impacto del neumático triturado en el medio ambiente varia de acuerdo a las condiciones del terreno y del agua en el lugar, especialmente los valores pH

Beneficios Medioambientales de las Aplicaciones de Neumáticos de Desecho

- Previene la contaminación y la generación de residuos
- Ahorra dinero porque evita la eliminación de los neumáticos de desecho
- Crea nuevas industrias de reciclado
- Reduce su eliminación en vertederos y la expansión de los mismos

Resumen
• Ventajas
Medioambientales

GRACIAS
El Principio
Mantener las carreteras en buen estado con el asfalto engomado
http://www.cp2info.org/center

¡¿Qué no se decide hoy!!!

Objetivos

- Módulo 1: Introducción al asfalto engomado (AR)
- Módulo 2: Diseño estructural del asfalto engomado de mezcla caliente (RHMA)
- Módulo 3: Construcción
- Módulo 4: Inspección

Módulo 1: Esquema de Introducción

- Historia del Asfalto Engomado (AR)
- Experiencia de Caltrans con RHMA
- Ventajas del RHMA
- Referencias Principales

Historia del Asfalto Engomado

- Se usa desde la década de 1960
- Se usa en sellado de gravilla, inter-laminas, revestimientos, cursos de desgaste y pavimento asfáltico de mezcla caliente
- Se ha usado extensamente en Arizona, Florida, Texas y California
- Ahora hay guías de diseño y construcción disponibles elaboradas por algunos organismos

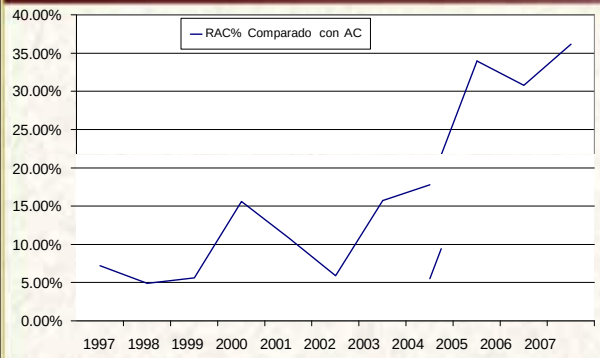
Historia del Asfalto Engomado (Conti.)

- Resultados variables en los primeros años
- Más efectivo en el retraso del agrietamiento reflectante como capa superficial fina
- La mezcla se comporta satisfactoriamente si se diseña y ejecuta correctamente

Uso de RHMA por Caltrans

- Uso más Importante
  - Revestimiento fino (RHMA-G) (discontinua)
  - Mitigar el agrietamiento reflectante
  - Menor espesor
- Otros Usos
  - Pista de fricción (RHMA-O) (Granulometría Abierta)
  - Pista de sacrificio durable (RHMA-O-HB) (granulometría abierta, aglomerante alto)
- Desempeño
  - Exitoso en todas las aplicaciones
  - Los problemas generalmente se debían a temas de construcción

Uso de RHMA (% de AC Utilizado) por Caltrans



Pista engomado unido de desgaste (RBWC) en I-5

MB y HVS

- 10 proyectos piloto usando aglomerante engomado (RMB) (1997-2000)
- Desempeño: 8 bien, 1 suficiente* y 1 insuficiente*
- Sitios HVS - UC Berkeley
  - RHMA-G de 45 mm, mezcla sobre el terreno
  - Aglomerante Modificado tipo G (MB) de 45 mm, Mezcla Terminal (TB)
  - (MB) tipo G de 90 mm, TB
  - 45 mm MB 15%, TB
  - 90 mm MB 15%, TB
  - DGAC Tipo A de 90 mm (Control)

- Desempeño de HVS: Supera las expectativas
  *No relacionado con los materiales

Proyectos RHMA con 5 Años de Garantía

- 5 Proyectos Construidos en 2002-2004
  - 4 - de Proceso Húmedo (Fresno-33, Ventura-150, Merced-140, San Diego-75)
  - 1 – MB-D (terminal) (Lassen -395)
- Nivelación sobre el terreno de juegos
  - 15% CRM
  - Especificaciones abiertas
  - El Criterio de Garantía de Desempeño de 5 Años Incluye
    > Surcos > Agrietamiento > Deslaminado
    > Elusión > Espeleología
- Revisión y Evaluación Periódica

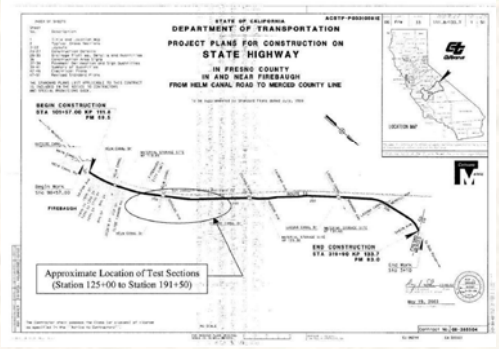
Fresno-33

- Fresno-33 (Firebaugh, 9 secciones de prueba, Junio 2004)
  - DGAC (90 mm)
  - RHMA-G (45 mm, 90 mm)
  - RUMAC (45 mm, 90 mm)
  - MB-G (45 mm, 90 mm)
  - MB-D (45 mm, 90 mm)
    - Desempeño de las secciones de evaluación
    - Pruebas de desempeño en laboratorio
    - Comparación con HVS

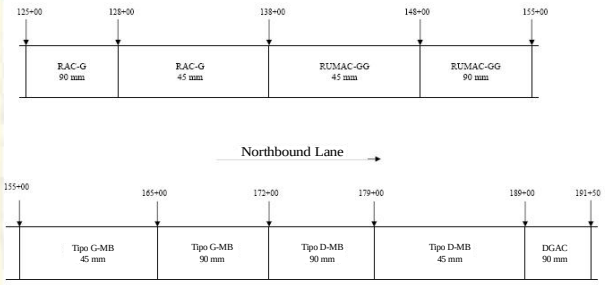
Trasfondo de Firebaugh

- En 2004, Caltrans, con financiamiento del California Integrated Waste Management Board (CIWMB) lanzó un diseño experimental a toda escala y un proyecto de construcción usando asfaltos engomados como revestimiento en secciones de pavimento dañadas.
- El principal foco del proyecto era observar el desempeño sobre el terreno de distintas mezclas de RHMA con distintos espesores, y evaluar la constructibilidad de las mezclas RHMA.

Fresno-33 (Firebaugh)



Fresno-33 (Firebaugh), Secciones de Prueba



Mezclas para Sección de Prueba

Tipo de Material	Sección	Proceso	Espesor (mm)	Longitud (m)	Sección de Prueba Inicio	Sección de Prueba Fin	Ubicación PES Inicio	Ubicación PES Fin
RAC-G	1	Húmedo	90	300	70.956	71.143	70.985	71.080
	2		45	1000	71.143	71.764	71.391	71.486
RUMAC	3	Seco	45	1000	71.764	72.386	72.100	72.195
	4		90	700	72.386	72.821	72.495	72.590
MB-G	5	Terminal	45	1000	72.821	73.442	73.000	73.095
	6		90	700	73.442	73.877	73.500	73.595
MB-D	7	Terminal	90	700	73.877	74.312	74.055	74.150
	8		45	1000	74.312	74.934	74.500	74.595
DGAC	9	Control	90	13000	74.934	83.069	75.000	75.095

- (RAC-G) – Hormigón Asfáltico Engomado, de Granulometría Discontinua (Proceso Húmedo)
- (RUMAC) – Hormigón asfáltico engomado, granulometría discontinua (Proceso seco)
- (MB-G) – Aglomerante Modificado Tipo G (Mezcla Terminal, Proceso Húmedo)*
- (MB-G) – Aglomerante Modificado Tipo D (Mezcla Terminal, Proceso Húmedo)*

* - Las especificaciones del proyecto exigían que los aglomerantes MB tuvieran al menos 15% de caucho por peso asfáltico.

Fresno-33 (Firebaugh) Problemas del Pavimento Existente

Construcción en Firebaugh

- La pavimentación comenzó en abril de 2004 y terminó en junio del mismo año

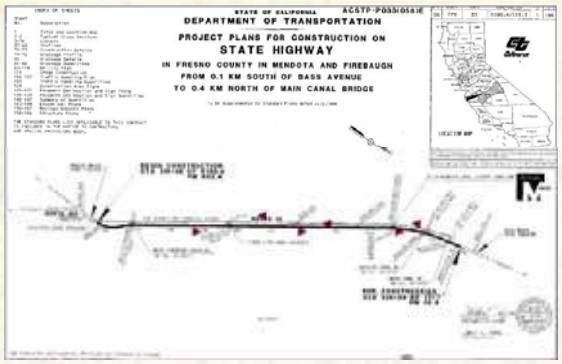
Evaluación de los Resultados Sobre el Terreno

- Se hicieron tres rondas de monitoreo de desempeño post-construcción en el proyecto. Se hicieron pruebas con FWD (deflectómetro de peso de caída) durante las tres rondas.
- En cada proyecto, se establecieron cuatro a nueve secciones para evaluación de desempeño (PES) de 152 metros para el monitoreo a largo plazo del desempeño.

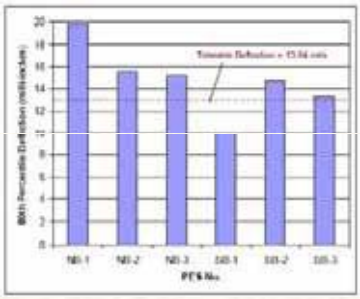
Evaluación de los Resultados en Terreno

- Un estudio del estado de la obra se realizó durante la última de las tres rondas de evaluación.
- Estudios detallados del estado del pavimento: se realizaron estudios de deterioro en conformidad con las definiciones estándar de Caltrans para tipo, severidad y extensión del deterioro.
- Los estudios incluyen mediciones de levantamiento, agrietamiento, enmarañamiento, deformación y otros daños así como fotografías digitales.
- Las pruebas y estudios sirven de componentes clave del programa de monitoreo de desempeño.

Ubicaciones de Secciones de Prueba en Firebaugh

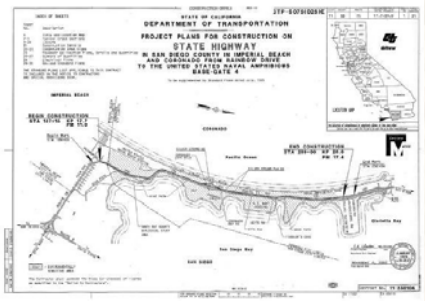


Resultados en Firebaugh



- El gráfico de barras compara el 80 porciento de deflexiones con el valor tolerable.
- Los que tienen una deflexión superior al 80% en valor tolerable se consideran estructuralmente inadecuados y con menos probabilidad de superar el periodo de diseño de 10 años.

CONDADO DE SAN DIEGO, AUTOPISTA 75



El proyecto de garantía RAC en San Diego está situado a lo largo de dos carriles sentido sur y en los arcenes de la autopista 75, Distrito 11 del Condado de San Diego, entre Coronado e Imperial beach. El proyecto tiene una extensión de 6,4 millas.

Pavimento Deteriorado en la Autopista 75

Autopista 75 de San Diego, Consideraciones de Diseño

- El área del proyecto esta ubicada dentro del área climática "costa sur" de Caltrans Los datos de precipitaciones, temperatura y volumen de tráfico son factores clave utilizados para desarrollar el diseño de mezcla y el espesor del pavimento.

San Diego: información de temperaturas y Precipitaciones

Elemento	Anual
Temperatura máxima media (°F)	69.9
Temperatura Mínima media (°F)	56.4
Precipitación Total media (pulgadas)	[illegible]
Total de Nevadas media (pulgadas)	0.0
Profundidad media de la Nieve (pulgadas)	0.0

San Diego 2003 Annual Average Daily Truck Traffic Data (AADT)

Post Mile	Kilo Post	Leg	Description	Vehicle AADT Total	Truck AADT Total	Truck % Total Vehicle	EAL 1-Way (1000)	Year Ver/Est
9	14.5	A	SD JCT RTE 5	71000	2130	3	151	85V
18.47	29.7	B	CORONADO POMONA AVE	30000	570	1.9	51	86E
19.586	31.5	B	JCT RTE 282	32000	768	2.4	46	84V
19.586	31.5	A	JCT RTE 282	26000	884	3.4	81	86E

Ver=Verified; Est=Estimated

Consideraciones Sobre Diseño Estructural

- Los ingenieros de Caltrans determinaron que se necesitaba un revestimiento de hormigón asfáltico engomado de granulometría discontinua y 60 mm de espesor (RAC-G) para lograr los resultados deseados

Materiales y Diseño de Mezcla

- El aglomerante para el asfalto engomado fue AR-4000 con 20% de CRM (75% de neumático triturado y 25% de alto contenido natural) y 3% de aceite entendedor

Autopista 75 de San Diego, Obras

- La pavimentación se llevó a cabo entre el 25 de abril y el 15 de mayo de 2003
- El equipamiento usado se muestra en la tabla de abajo.

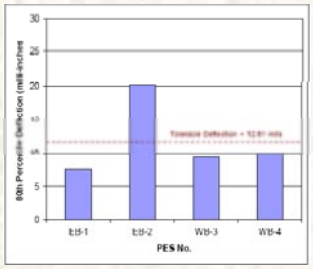
San Diego Equipo para Pavimentación con RAC

Marca	Tipo	Modelo
Merle Husky/Cat	Empedrador Vibratorio	Medel AP 1055B
Oruga	Rodillo Vibratorio de Ruedas de Acero	Medel Cat 364C
Ingersoll Rand	Rodillo Vibratorio de Ruedas de Acero	Medel DD110
Teamstar	2000 Galones de Adhesivo	
Terra Gator	Camión de Áridos	1603T
	R/T Retroexcavadora con Caja de Expansión	
Rigidizador	Hiniesta de Anclaje	BD250B

Observaciones Sobre el Terreno y Resultados

- Ubicación de los PES

Observaciones en Terreno y Resultados



- El gráfico indica que tres de los cuatro PES tienen deflexiones del percentil 80 que claramente satisfacen el criterio de deflexión tolerable.
- Se espera que el pavimento pueda proporcionar un desempeño estructural bueno durante los 10 años del periodo de diseño.

Ventajas de AR

- Buena durabilidad: en términos de resistencia al agrietamiento y obsolescencia
- Respeta al medio ambiente: hace un uso de valor añadido de los residuos y reduce el ruido del tráfico
- Versatilidad: puede usarse en la mayoría de actividades de mantenimiento y reparación, con frecuencia a espesor reducido para mayor resistencia al agrietamiento reflectante
- Color de mayor duración: para dar un mejor contraste a rayas y marcas
- Mantenimiento reducido: tanto para sellado de miga y para asfaltos de mezcla caliente

Referencias Principales

- Guía de uso asfáltico engomado
- Uso de Caucho de Neumático de Desecho: Estado de la Tecnología y Mejores Prácticas
- Síntesis de los Proyectos de Hormigón Asfáltico Engomado de Caltrans
- Factibilidad de los Materiales de Pavimentación con Caucho Modificado por Reciclaje
- Estudio Sobre Consideraciones de Diseño Estructural
- Manual de Reparación de Pavimento Flexible
- Directrices de Diseño y Construcción con Asfalto Engomado
- RHMA-G SSP Version (12-12-05)
- RHMA-O SSP Version (12-12-05)

http://www.dot.ca.gov/hq/esc/Translab/fpmlab/Caltrans_CIWMB%20Project%20T021%20Deliverables.htm

Resumen del Módulo 1

- Objetivos y Contenido del Curso
- Historia de RHMA
- Experiencia de Caltrans con RHMA
- Ventajas del RHMA
- Referencias

Módulo 2: Diseño Estructural

Pavimentos Nuevos y Revestimientos

Módulo 2: Esquema

- Terminología
- Practicas de Caltrans
- Estudio de 2005
- Prácticas revisadas de Caltrans
- Selección de Proyecto RHMA
- Análisis de Costes

Terminología

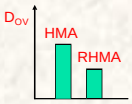
- Asfalto de mezcla caliente (HMA) reemplaza el término hormigón asfáltico de granulometría densa (DGAC)
- Manual de Diseño de Autopistas (HDM) de Caltrans
- Manual de Reparación de Pavimento Flexible (FPRM) de Caltrans
- Guía de Uso del Asfalto Engomado (Guía AR)
- Análisis mecanicista-empírico (M-E) y diseño

Práctica de Revestimientos de Caltrans

- Basado en FPRM (2001)
- Usa la reducción de la deflexión a un nivel tolerable
- Diseño de espesor del revestimiento HMA basado en TI y el espesor de capas HMA existentes
- Revisar también el agrietamiento reflectante y evaluar la calidad antes de diseñar el pavimento

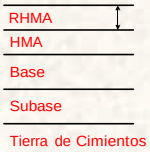
Práctica de Revestimientos de Caltrans

- Cuando RHMA-G se usa como material interlaminar
  - Diseñado por espesor convencional HMA
  - Determinar el espesor de revestimiento RHMA-G de acuerdo a FPRM
    - Tabla 3: Basado en equivalencias estructurales
    - Tabla 4: Basado en el retraso del agrietamiento reflectante
  - El espesor del revestimiento RHMA-G suele ser la mitad del espesor de revestimiento con HMA



Estudio de 2005

- ¿Cómo debería usarse RHMA en los pavimentos nuevos?
- ¿Puede aumentarse el espesor de RHMA-G a más de 60 mm?
- La reducción de espesor 2:1 para RHMA-G ¿ofrece una equivalencia estructural adecuada para revestimientos?

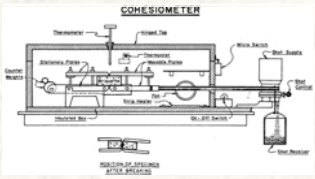


Estudio de 2005

- Esfuerzo conjunto de Caltrans, UCPRC y MACTEC
- Tanto pavimentos nuevos como revestimientos estructurales
- Pruebas de laboratorio (Cohesiómetro)
- Análisis teórico (M-E) con modelos creados en laboratorio

Hallazgos Principales - Pavimentos Nuevos

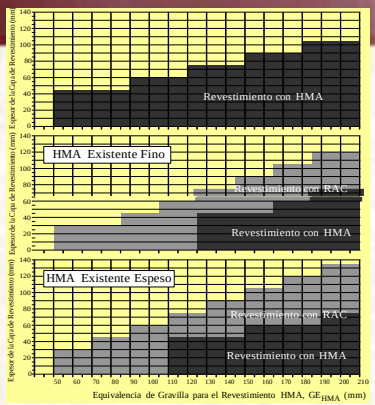
- Los limitados resultados de la prueba con cohesiómetroindican que Gf para RHMA y HMA son similares.



Hallazgos Principales - Revestimientos Estructurales

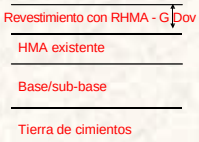
- Según el análisis M-E, el beneficio estructural del revestimiento con RHMA-G varia según el espesor colocado. El beneficio más mayor ocurre con capas finas de 30 a 60 mm de espesor en comparación con HMA del mismo espesor.
- El uso de espesor reducido para revestimiento }con RHMA-G es válido; sin embargo, no hasta el punto empleado anteriormente por Caltrans.

Tabla Simplificada para el Diseño de Espesor del Revestimientohi

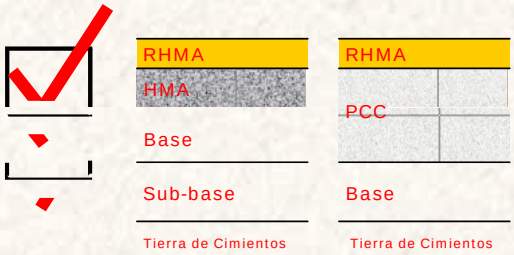


Recomendaciones: Revestimientos Estructurales

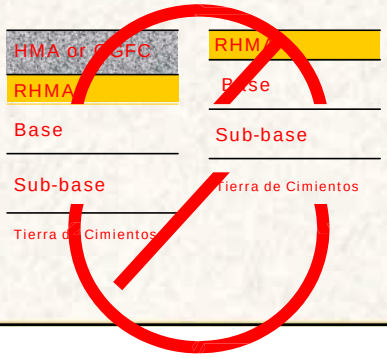
- Calcular el GE para HMA usando la metodología actual y determinar el revestimiento estructural
- Diseño de revestimiento RHMA-G en un rango de 30 a 60 mm para lograr el mayor beneficio estructural



Uso de RHMA en Pavimentos Nuevos



Uso de RHMA en Pavimentos Nuevos

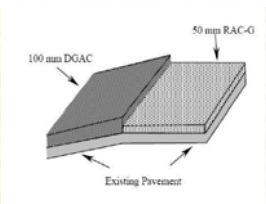


Uso de RHMA en Pavimentos Nuevos

Tipo de Material	Espesor Máximo
RHMA-G	65 mm
RHMA-O	45 mm
RHMA-O y RHMA-G	45 mm en 60 mm

Práctica Revisada: Pavimentos Nuevos

- Colocar arriba del HMA o PCC convencional. No colocar directamente sobre la base de agregado (tratada o no tratada) sub-base o suelo nativo.



Práctica Revisada: Pavimentos Nuevos

- Colocar RHMA (RHMA-G) de granulometríasw discontinua con un espesor mayor a 60 mm y RHMA (RHMA-O) de granulometría abierta con un espesor no superior a 45 mm. Hasta 45 mm de RHMA-0 puede colocarse sobre los 60 mm de RHMA-G.

Práctica Revisada: Pavimentos Nuevos

- No colocar bajo la capa HMA convencional o se producirá un curso de fricción de granulometría abierta (HMA de granulometría abierta)
- No reducir el espesor total del pavimento cuando se use RHMA. El Espesor del pavimento a rehabilitar puede reducirse solamente con HRMA de agrietamiento reflectante. El agrietamiento reflectante no supone un problema en construcciones nuevas.

Práctica revisada: revestimientos

- El procedimiento de diseño de revestimiento ahora se incorpora a una nueva HDM
- Las estrategias de rehabilitación se dividen en tres categorías:
  - Revestimiento
  - Molino y revestimiento
  - Eliminar y reemplazar
- Los diseños de rehabilitación dependen de uno de los siguientes tres criterios:
  - Adecuación estructural
  - Agrietamiento por reflexión
  - Calidad del rodaje

Práctica revisada: revestimientos

- procedimientos de revestimiento para pavimento flexible existente
  - Adecuación estructural
    - También se toma de base el principio de reducir la deflexión a un nivel tolerable
    - l espesor de revestimiento exigido se determina dividiendo la equivalencia (GE) por el factor de gravilla (Gf)
  - Agrietamiento reflectante (tabla de equivalencias)
  - La calidad del desplazamiento puede evaluarse según la suavidad del pavimento

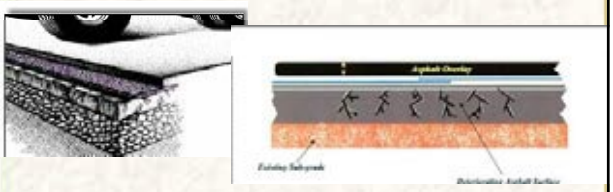
Equivalencias de Espesor de Revestimiento Para Retraso del Agrietamiento Reflectante

HMA	RHMA-G	RHMA-G y SAMI-R
45 mm	30 mm	
60 mm	30 mm	
75 mm	45 mm	
90 mm	45 mm	
105 mm	• 45 mm, ¿si el CW < 3 mm • 60 mm, ¿si el CW < 3 mm o si el material subyacente es CTB, LCB o PCC	• N/A para CW < 3 mm • 30 mm ¿si el CW? 3 mm y el material subyacente no está tratado • 45 mm ¿si el CW? mide 3 mm, o si el material subyacente es CTB, LCB o PCC

Nota: CW = Ancho de la grieta

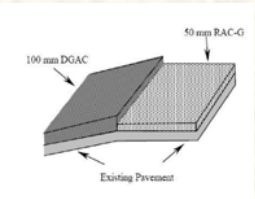
Selección de Proyecto RHMA: Revestimientos

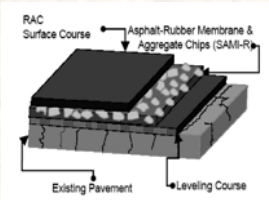
- Los proyectos de revestimiento son los mejores candidatos para el uso de mezclas RHMA porque el pavimento existente ayuda a satisfacer las necesidades de cubierta



Selección de Proyecto RHMA: Revestimientos

- Si el pavimento existente es estructuralmente sólido, y el agrietamiento reflectante es el deterioro principal, el espesor de RHMA-G puede reducirse hasta la mitad del espesor HMA para controlar el agrietamiento reflectante.





Selección de Proyectos: Molienda y Revestimiento Con RHMA

- Proyectos en que se va a eliminar y reemplazar una parte de la superficie HMA existente son candidatos válidos para RHMA
- Siga el procedimiento de fábrica y revestimiento en HDM, busque:
  - Adecuación estructural
  - Agrietamiento por reflexión
  - calidad de desplazamiento (suficiente)

Análisis de Coste: Coste Inicial

- Coste por unidad en 2008: $96/ton para HMA vs. $115/ton para RHMA.
- Los costes de HMA y de RHMA serán más altos en 2009.
- En general, los costes iniciales son altos, sin embarg o, el espesor de capa reducido resulta en menores gastos
- Contratistas e ingenieros con experiencia pueden ayudar a mantener bajos los precios y la calidad alta de RHMA

LCCA: Análisis de coste

- LCCA: análisis del coste de ciclo vital
- La información disponible indica que Rhma es (en general) más económica en la mayoría de los casos cuando se compara con las estrategias de reparación y mantenimiento para el HMA tradicional.

LCCA: Análisis de coste

- Caltrans ha desarrollado un procedimiento LCCA basado en el Modelo de coste real elaborado por FHWA
- El procedimiento de Caltrans tiene un cronograma MR para
  - Por los distintos climas de la región (Ej., costa, valles, desierto y montaña) y por distritos
  - Por tipo de superficie (Ej., HMA, RHMA)
  - Por diseño de vida de la molienda y revestimiento

LCCA: Análisis de coste

- El procedimiento de Caltrans también incluye el coste unitario de la construcción de reparación total para distintas estrategias
- El procedimiento LCCA de Caltrans estuvo listo para usar a finales de junio de 2006

Resumen del Módulo 2

- Prácticas de Caltrans
- Estudio de 2005
- Prácticas revisadas de Caltrans
- Selección de proyecto RHMA
- Análisis de costes

Módulo 3: Construcción

Manufactura, entrega, colocación y compactación

Módulo 3: Esquema

- Panorama general de las obras
- Preparación de la superficie
- Manufactura
- Entrega de mezcla (transporte)
- Colocación
- Compactación
- Especificaciones/SSP

Panorama general de las obras

FOCO: pistas de superficie RHMA

- RHMA-G, RHMA-O y RHMA-O-HB
- La colocación de RHMA es muy similar a las coberturas AC de graduación densa típicas, excepto por:
  - Requiere una colocación más alta y unas temperaturas de compactación
  - Para RHMA-G, usar el modo vibratorio para cada pasada de aplastamiento, y obtenga un 95% de la compactación necesaria durante el triturado
  - No apto para el trabajo manual
- Se requieren buenas prácticas para la producción y construcción de RHMA, al igual que para HMA.

Preparación de la Superficie

OBJETIVO: Entregar condiciones de superficie que mejoren el desempeño de la nueva superficie de RHMA.

Mismas actividades que para HMA:

- Abordar el deterioro existente
  - Sellar las grietas
  - Eliminar y reemplazar el pavimento dañado
- Mejorar la suavidad
  - Rellenar baches, nivelar, restaurar o ajustar el perfil
- Asegurar la unión bajo las capas subyacentes

Nivelación de la Superficie

- Técnicas
  - Molienda en frío, planificación en frío, pulverización
  - Curso de nivelación (HMA)
  - Relleno de baches

Limpiar y Rastrillar

- Para promover una buena fusión, moler o pulverizar la superficie, y eliminar los residuos de las áreas reparadas antes de colocar el revestimiento
- Lavar si es necesario
- Comprobar que la superficie está seca antes de colocar el revestimiento

Aplicar Dirección

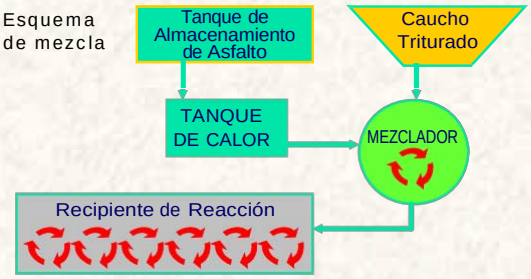
El propósito es unir las capas de pavimento. Se prefiere el aglomerante de granulometría de pavimentación para RHMA.

Manufactura

- La diferencia principal con las operaciones de una planta AC normal es la manufactura sobre el terreno del aglomerante de alta viscosidad para el asfalto engomado.

Producción de aglomerante AR

Esquema de mezcla



CRM Viene en Supersacos Con Peso Nominal Del 2.000 lb

El CRM se pesa en la tolva

CRM se mezcla con el cemento asfáltico caliente

Equipo de Mezcla AR y Tanque de Interacción

Producción de Mezcla RHMA

- El alimentador de aglomerante asfáltico engomado cauchutado reemplaza el alimentador de cemento asfáltico normal, se traba y se mide en la planta AC
- Bajo impacto en las operaciones de la planta AC
  - Se puede usar más de un aglomerante AR para mantener la producción de RHMA a la tasa tph normal
  - Las diferencias principales del HMA están en las temperaturas de mezcla y descarga
    - Rango de temperatura de mezcla del agregado: 300 - 3250F
    - ¿El aglomerante AR se añade a...? 3750F

Como Se hace el Hormigón Asfáltico engomado (proceso húmedo)

Entrega de Mezcla (Transporte)

- La temperatura de mezcla RHMA es clave para su colocación y compactación
  - Los camiones que trasladan las mezclas RHMA deben cubrirse para distancias largas
  - Temperatura de expansión 280-325°F, según Caltrans
  - La temperatura mínima para empezar el apisonamiento de molienda es 275°F según Caltrans
  - Generosa comparada con otras especificaciones: El Libro Verde exige temperaturas más altas

Entrega de Mezcla

En cuanto al HMA, para promover la calidad, suavidad y compactación uniforme, se deben equilibrar todos los aspectos de:

- Producción de mezcla (planta AC)
- Entrega de mezcla (transporte)
- Operaciones de pavimentación (sin interrupciones)
- Compactación (seguir con la explanadora)

Segregación de Mezcla

- Segregación de agregados (tamaño de partícula)
  - El RHMA-G puede parecer segregado debido al bajo contenido de material fino, la textura de la mezcla puede verse tosca y algo abierto.
    - Hacer pruebas con el contenido de aglomerante y granulometría de la muestra para verificar que sea la correcta
  - La segregación produce una granulometría y compactación no uniforme, la que puede producir vacíos de aire interconectados
  - Las fuentes incluyen carga/descarga de la mezcla y operaciones con explanadora

Segregación de Mezcla

- Técnicas para reducir la segregación (por tamaño de partículas) del agregado
  - Mejor graduación de mezcla: no es de gran ayuda para RMHA-G o RHMA-O
  - Prácticas mejoradas de carga y descarga
  - Usar un vehículo de transferencia del material no siempre es factible

Segregación Térmica

- Con frecuencia acompaña a la segregación por tamaño de partículas
- Causa una compactación no-uniforme
- Las fuentes incluyen:
  - Procesos que resultan en un enfriamiento desigual (desplazamientos, líneas de matas)
  - Manejar los lados de la explanadora
  - Retrasos en la entrega y/o colocación de la mezcla

Segregación Térmica

- Técnicas para reducir la segregación térmica

  Minimizar el tiempo entre carga y colocación
  - Aislamiento y cubierta de camiones
  - Procedimientos correctos de pavimentación
  - Transferencia en vehículo del material

Problemas Asociados a Los Camiones de Transporte

- Tipos y características
  - Volcado final
  - Volcado (de cajón) basculante: no usar hileras de matas cuando las temperatura sobre el terreno sea marginalmente frías
  - Descarga horizontal (tolva de descarga)
- Aislamiento: requiere lona
- Limpieza (plataforma)
  - Jabón tenso activo
- Mantenimiento del camión

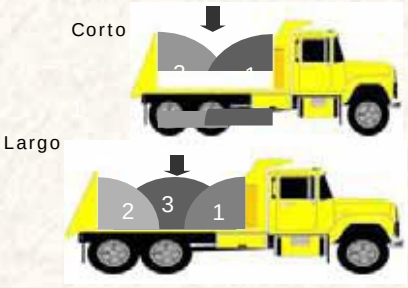
Prácticas de Carga Del Camión

- Objetivo principal: ¡evitar la segregación!

- ¿Qué hace que una mezcla tienda a la segregación?
  - Rango de tamaño de partículas, finas limitadas

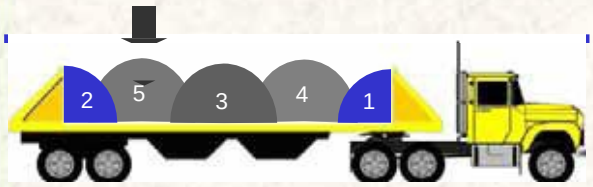
Prácticas de Carga Del Camión

Prácticas preferida para camiones de volcado final:



Prácticas de Carga Del Camión

Práctica preferida para camiones de volcado basculante:



Colocación (Aplicación)

- Propósito: colocar la mezcla suavemente al espesor indicado de forma uniforme de acuerdo a las pendientes y grados del plan a temperaturas sobre un mínimo definido
- Equipamiento: el mismo que para HMA:
  - Unida de tractor (empedradora)
  - Unidad de encofrado
- Equipamiento de empedradora: el mismo que para HMA:
- Uniones: es esencial aplicar buenas prácticas

Operación de Empedradora

¡Usar buenas prácticas"

Referencias :

- Curso de construcción HMA del National Highway Institute (NHI)
- Manual de pavimentación HMA 2000
- Manual de construcción de Caltrans

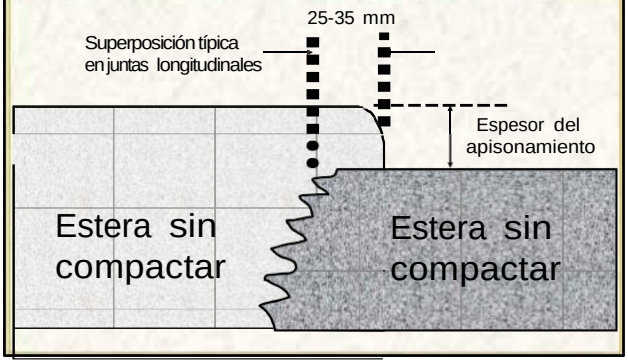
Trabajo Manual

- Reducir cuanto sea posible
- El aglomerante rígido de granulometría tosca, hace difícil el trabajo manual
- Se requieren temperaturas altas para conservar la maleabilidad del RHMA
- Normalmente produce una apariencia tosca, abierta y áspera debido al poco material fino
- Minimizar el rastrillado y extensión de masilla
- No diseminar el exceso de material

Uniones

- ¡Usar buenas prácticas!
- La mezcla RHMA es difícil de empalmar debido al poco material fino que posee
- sAsumir que la compactación reduce la colocación del espesor mecánico en ¼ pulgada por pulgada
  - Para colocación manual, asumir una diferencia de 3/8 por pulgada
- Algo de rastrillado es inevitable
  - Reducir todo lo posible
  - Rastrillar el exceso hacia el lado caliente, no al frío

Unir la Superposición



Compactación

Es necesario una compactación adecuada para lograr un buen desempeño del pavimento

- Mejora la resistencia a los surcos
- Reduce la penetración de humedad/aire y daño medioambiental asociado
  - Obsolescencia por oxidación (quebradizo, enmarañamiento)
  - Daño por humedad (desprendimiento)
- Mejorar la resistencia a la fatiga
- Reduce el potencial de agrietamiento de las temperaturas bajas
- Aumenta la durabilidad

Compactación

Los factores claves que influyen en la compactación:

- Espesor del levantamiento
- Temperatura del aire
- Temperatura de base
- Temperatura de extensión de la mezcla RHMA
- Velocidad del viento, humedad y otros factores del terreno
- Luz solar o falta de la misma
- Las propiedades de la mezcla, incluyendo el contenido de aglomerante

La temperatura es la clave para lograr la compactación del RHMA

Temperatura de Compactación (RHMA)

- Cuando la temperatura del aire es 55°F,
  - la temperatura mínima para empezar el apisonamiento de trituración es de 280°F
  - El aplanamiento debe completarse antes de que la temperatura de la capa baje de los 260°F
- Cuando la temperatura del aire es 65°,
  - la temperatura mínima para empezar el apisonamiento de trituración es de 275°F.
  - El aplanamiento debe completarse antes de que la temperatura de la capa baje de los 250°F

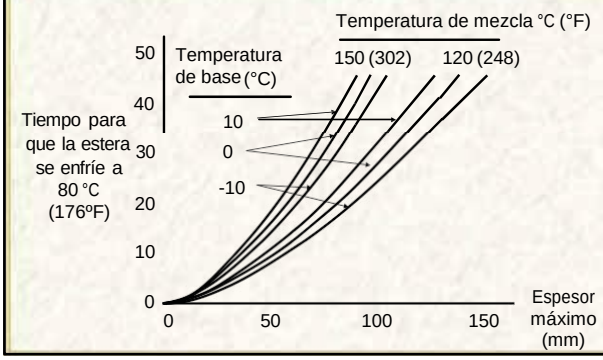
Temperatura de Compactación

- Específica las mismas temperaturas para las mezclas RHMA-O y RHMA-O-HB que para RHMA-G
- El trabajo a las temperaturas mínimas puede causar problemas para conseguir la compactación adecuada de las mezclas RHMA-G

Temperatura de Dompactación

- Se sugiere aplicar el rango de temperatura más alta para RHMA de granulometría abierta
  - De acuerdo a las experiencias de otros, puede seguir siendo marginalmente bajo para entregar el desempeño deseado
  - Los problemas principales con la aplicación a temperaturas bajas de mezclas de granulometría abierta son el deshilachado y deslaminado

Tiempo Disponible Para la Compactación



Requerimientos de Compactación

- Caltrans ha implementado requisitos de compactación para las mezclas RHMA-G
  - La aceptación depende del núcleo del pavimento
  - El límite inferior propuesto es el 91% de la densidad teórica máxima (equivalente al máximo de 9% en vacíos de aire sobre el terreno)
- No hay requisitos de compactación para las mezclas RHMA de granulometría abierta, actuales o futuras

Equipamiento de Compactación

- Tipos de apisonadoras
  - Apisonadora con ruedas de acero estáticas
  - Apisonadoras con neumáticos: no usar con mezclas RHMA
  - Apisonadora con ruedas de acero vibratorias: necesario para la distribución
- Secuencia de apisonamiento
  - Distribución: inmediatamente después de la pavimentadora en modo vibratorio
  - Intermedia
  - Acabado

Equipamiento de Compactación

Patrón de Apisonadora

- Selección del equipamiento para compactación
- Ancho de la pavimentación
- Ancho de la apisonadora(s): para RHMA se necesitan suficientes apisonadoras de distribución para cubrir el ancho de la aplicación
- Número de pasadas necesarias
- Calibradores nucleares para medir la densidad relativa
- Núcleos para la correlación de calibradores con sobre el terreno; es decir, contenido de vacíos de aire

Especificaciones/SSP

- Las especificaciones para RHMA-G, RHMA-O y RHMA-O-HB pueden encontrarse en la sección 39 de las especificaciones estándar de Caltrans
- Se recomienda seguir los requisitos de estipulaciones especiales del proyecto para asegurar que se usa la versión correcta

Resumen Del Módulo 3

- Panorama general de la construcción
- Preparación de la superficie
- Manufactura
- Entrega de mezcla (transporte)
- Colocación
- Compactación
- Especificaciones/SSP

Módulo 4: Guía de Inspección

Operaciones de planta para la mezcla asfáltico caliente

Las operaciones de planta durante la producción de la mezcla RHMA son básicamente las mismas que para la producción estándar de HMA. Se aplican los requisitos de CT 109

Diferencias

- Producción y monitoreo del aglomerante para asfalto cauchutado en las mezclas con proceso húmedo.
- Las temperaturas de mezcla en planta de 300-3250F pueden ser ligeramente más altas que lo normal.

Producción de Aglomerante AR

Documentación necesaria

- Perfil del diseño de aglomerante AR, incluyendo
  - Identificación y proporciones de los componentes
  - Granulometrías CRM
  - Los resultados de la prueba AR que muestran cumplimiento de las especificaciones
- Certificados de cumplimiento para los componentes
  - Cemento asfáltico
  - Modificador asfáltico (aceite para expansión)
  - CRM de neumático de desecho
  - CRM natural alto

Perfil de diseño para mezcla de asfalto engomado

	Minutos de Reacción					Limites de especificaciones @ 45 Minutos (CALTRANS 12/2005)
PRUEBA	45	90	240	360	1,440	
Viscosidad, cP Haake@ 190°C	2400	2800	2800	2800	2100	1500 - 4000
Resiliencia @ 25°C (% de rebote) (ASTM D 5329)	27	--	33	--	23	18 Minutos
Punto de ablandamiento de R y B, °C (ASTM D36)	59.0	59.5	59.5	60.0	58.5	52 – 74 (125-165ºF)
Lápiz de proyección @ 25C (ASTM D217)	39	--	46	--	50	25 – 70

Producción de Aglomerante AR

Elementos de inspección

- Fichas de procesamiento o registros de producción del aglomerante AR que muestran las cantidades (normalmente en masa) de los componentes usados. Revisar las proporciones de:
  - Cemento Asfáltico
  - Aceites extendedores
  - CRM de neumático de desecho
  - CRM natural alto

Producción de Aglomerante AR

Los registros de producción de aglomerante AR o los registros de pruebas de viscosidad deberían indicar en qué etapa se añadió el CRM.

Antes de añadir el aglomerante AR al agregado:

- Verificar que haya transcurrido el tiempo de interacción mínima AR de 45 minutos
- Verificar que las necesidades de viscosidad del aglomerante AR cumplen o exceden el nivel mínimo de 1.500 cPs a 3.75°Fs
- Seguir controlando la viscosidad cada hora durante la producción de la mezcla RHMA

Producción de Aglomerante AR

- Mientras el tiempo de interacción y la viscosidad cumplan o superen los requisitos mínimos, el aglomerante AR puede añadirse al agregado, incluso si la viscosidad difiere de los valores indicados en el perfil de diseño.
- El perfil de diseño sirve como guía, no como especificación. Si la viscosidad durante la producción difiere del perfil de diseño en 400 cPs o más para el intervalo de interacción correspondiente, obtenga una muestra del aglomerante para probar el cumplimiento.

Producción de Mezcla RHMA

Documentación necesaria

- Diseño de mezcla RHMA, incluyendo:
  - Gradaciones de agregado individual y combinada
  - Resultados de las pruebas de calidad combinadas e individuales del agregado
  - Origen(es) del agregado y proporciones de mezcla
  - Máximo teórico de gravedad/densidad específica
  - Diseño del contenido del aglomerante AR
  - Diseño del contenido de vacíos de aire
  - Diseño de vacíos en agregados minerales (VMA)
  - Estabilidad Hveem

Producción de Mezcla RHMA

- Verificar que la planta AC cumple los requisitos de la norma CT 109
- Revisar los envases de agregado
- Obtener una muestra del agregado suministrado desde depósitos fríos o calientes, según corresponda, y verificar la gradación. Se requiere una prueba de arena equivalente
- Verificar las temperaturas de mezcla y descarga de RHMA

Producción de Mezcla RHMA

- Revisar visualmente la mezcla RHMA en el camión de transporte antes de que salga de la planta
- Obtener una muestra de la mezcla RHMA para analizarla de acuerdo a las estipulaciones especiales del proyecto.
- Las pruebas incluyen gradación, contenido de aglomerante AR, gravedad específica teoría máxima, vacíos de aire producidos en laboratorio y estabilidad Hveem
- Comprobar que los camiones de transporte están cubiertos con una lona.

Producción de Mezcla RHMA

- Llevar un registro de inspección con la información pertinente, incluyendo entre otras:
  - Lista de muestras obtenidas
  - Resultados de las pruebas en la planta (para agregados y mezcla)
  - Resultados de las pruebas en la planta (para agregados y mezcla)
  - Temperatura de producción del aglomerante y medición de la viscosidad, etc.
  - Otra información necesaria

Inspección en el Sitio de Pavimentación

Antes de colocar el revestimiento:

- Verificar que la preparación de la superficie se ha completado
  - ¿Hay grietas tratadas o selladas?
  - ¿Han sido reparadas las áreas deterioradas?
  - ¿La molienda está terminada correctamente (si aplica)?
  - ¿La superficie está limpia y barrida?
  - ¿Se aplicó correctamente la capa de adherencia?
- Verificar que la temperatura del pavimento y del ambiente es de por lo menos de 55°F para arriba

Inspección en el Sitio de Pavimentación

- Equipamiento
  - Comprobar que la explanadora y apisonadora cumplen los requisitos de tamaño, están en buenas condiciones de funcionamiento y los operadores calificados estén presentes.
  - Comprobar si hay apisonadoras con ruedas de acero suficientes para el apisonamiento y la compactación intermedia.
  - Las apisonadoras deben tener una función vibratoria
- Método de entrega: No usar líneas de ringleras si la temperatura ambiente es marginalmente fría.

Inspección en el Sitio de Pavimentación

Caltrans exige a RHMA-G que la temperatura ambiente esté entre 55 y 65°F:

- La temperatura de expansión de la mezcla RHMA-G debe estar entre 290-325°F
- La temperatura mínima para empezar el apisonamiento de trituración es de 280°F
- Se requiere modo vibratorio para el apisonamiento de RHMA-G
- Completar el apisonamiento antes de que la temperatura de la capa RHMA descienda bajo 260°F

Inspección en el Sitio de Pavimentación

- ¿Menor exigencia para temperatura ambiente **≥ 65°F (18,33≥)**
- Otros reglamentos recomiendan una temperatura mínima de 290°F para el apisonamiento y su acabado
- Se han implementado exigencias de compactación para las mezclas RHMA-G, con aceptación según núcleos

Inspección en el Sitio de Pavimentación

Los requisitos de Caltrans para la temperatura de colocación de RHMA-O y RHMA-O-HB indica una temperatura ambiente entre 55 y 65°F, las mismas que para RHMA-G

Otras jurisdicciones no recomiendan colocar RHMA-O a temperaturas <65°F.

Para mezclas de RHMA de granulometría abierta, se recomienda usar el modo estático para la compactación por apisonamiento. No usar el modo vibratorio. El porcentaje de compactación no es un requisito para las mezclas de granulometrswía abierta.

Inspección en el Sitio de Pavimentación

Durante la colocación de RHMA:

- Recoger tickets de carga y registrar el tonelaje colocado
- Medir el espesor de la capa colocada y calcular el rendimiento
- Observar la coordinación entre la entrega y colocación de la mezcla RHMA y anotar si los camiones y la explanadora tienen que esperar
- Anotar las cargas rechazadas de RHMA, si las hubiera
- Observar las operaciones de entrega: ¿se siguen las buenas prácticas?

Inspección en el Sitio de Pavimentación

- Registrar si se usan hileras de mezcla.
- Controlar las temperaturas de RHMA durante su expansión, apisonamiento y compactación intermedia.
- Observar el funcionamiento de la explanadora: anotar discrepancias con buenas prácticas que puedan impactar la calidad de juntas o deslizamiento (suavidad).
- ¿Las juntas están en las ubicaciones correctas?
- Observar rastrillado, extensión de masilla y trabajo manual. La transmisión del exceso de mezcla o rastrillado excesivo puede dañar la apariencia del pavimento terminado.

Inspección en el Sitio de Pavimentación

- Observar las operaciones de compactación: anotar discrepancias con las buenas prácticas que puedan impactar la densidad sobre el terreno
  - ¿Pasan las apisonadoras inmediatamente después de las explanadoras?
  - ¿Usan las apisonadoras el modo vibratorio?
  - ¿Hay suficientes apisonadoras funcionando para seguir el ritmo de la explanadora?
  - ¿Mantiene el ritmo lLa apisonadora estática intermedia mantiene el ritmo?
  - ¿Son efectivas las apisonadoras de acabado?

Inspección en el Sitio de Pavimentación

Reglas del oropulgar para la compactación de RHMA-G:

- Se necesita obtener 95% de la mínima densidad exigida con la cobertura de apisonamiento para lograr una compactación adecuada.
- La temperatura de mezcla es clave para una compactación adecuada de los materiales RHMA-G

Después de Pavimentar

- Comprobar la apariencia de la superficie acabada para detectar marcas de rodillo, arañazos, gubias u otras irregularidades
- Procurar que la suavidad cumpla lo exigido por las estipulaciones especiales del proyecto

- Evaluar visualmente la calidad de las juntas de pavimentación e identificar las áreas que necesiten sellado.
- Identificar las ubicaciones centrales para la aceptación de la compactación

Resolución de Problemas

- Si se sospecha algún tipo de problema de mezcla de RHMA, se deben obtener muestras inmediatamente para analizar si cumplen las estipulaciones especiales del proyecto.
- Anotar la descripción completa del problema y actividades asociadas y enviar un informe a RE.

Resolución de Problemas

Posibles problemas a detectar:

- Segregación: La segregación por tamaño de partícula puede ser difícil de identificar en mezclas RHM-G de granulometría tosca. Pueden parecer segregadas incluso si no lo están, debido al pequeño porcentaje de partículas finas incluidas.
  - Cuando haya dudas, analice una muestra
  - Identificar y registrar las vagonadas afectadas y las áreas correspondientes de colocación
- La segregación de tamaño a menudo viene acompañada de segregación por temperatura

Resolución de Problemas

- La segregación por temperatura puede identificarse usando una pistola de aire caliente o cámara infrarroja
  - Para medir la temperatura real de la mezcla sin efectos superficiales, use un termómetro de 6 pulgadas de largo
- Indique los puntos calientes y fríos de la mezcla que puedan causar diferencias de compactación
  - Puede ver las zonas en los camiones de transporte y explanadoras donde la mezcla no está circulando y se ha enfriado
  - Muestra cuando el material de los lados de la explanadora se deposita en la tolva y aparece detrás del encofrado

Resolución de Problemas

- Humo
  - El humo azul significa que la mezcla está demasiado caliente y que la temperatura de funcionamiento de la planta debe ajustarse
  - El humo blanco es vapor, lo que indica que hay demasiada humedad en la mezcla. Puede hacer la mezcla más blanda e interferir con la compactación. Los agregados deben estar secos mucho antes de mezclarse con el aglomerante AR.

Resolución de Problemas

- Apariencia rígida: Demasiado frío o posiblemente bajo contenido de aglomerante AR en la mezcla. Revisar la temperatura y obtener una muestra de mezcla para análisis posterior si fuera necesario.
- Apariencia árida, lisa: Bajo contenido de aglomerante AR y/o exceso de partículas finas. Las áreas localizadas pueden indicar mezcla insuficiente o segregación. Obtener una muestra y analizarla su gradación y contenido de aglomerante AR.

Resolución de Problemas

- Apariencia grumosa y brillante indica normalmente un alto contenido de aglomerante AR.
  - Las mezclas RHMA-O y especialmente RHMA-O-H pueden verse de esta forma y cumplir las especificaciones.
  - El antiguo término para describirla es "agusanada": la mezcla parece casi arrastrase mientras se observa
  - Algunas mezclas de RHMA-G correctas también pueden verse agusanadas
  - Revisar visualmente el drenaje descendente del aglomerante en el lecho de la tolva, recoger una muestra y analizar su contenido de aglomerante AR y gradación

Resumen del Módulo 4

- Monitorear la producción de aglomerante AR y los resultados de viscosidad
- Analizar una muestra del aglomerante AR y los componentes individuales para análisis y aceptación
- Observar la temperatura RHMA y las operaciones de compactación
- La aceptación de la compactación puede estar basada en muestras centrales

¿Preguntas?

El Principio

Mantener los caminos en buen estado con materiales asfáltico para pavimentación

http://www.cp2info.org/center

¡El futuro se decide hoy!

TDA en Ingeniería de cimientos

Ingeniería de cimientos, CSU, sede Chico

Preparado Por el Consejo Integrado de Gestión de Residuos de California (CIWMB) (Por Sus Siglas en Inglés)

Introducción

- Trasfondo
- Aplicaciones De Ingeniería Civil
- Prueba a escala completa de TDA como relleno posterior para muros de contención
- Estudio de caso
- Conclusión

Información Básica

- Cada año se generan aproximadamente 300 millones de neumáticos para chatarra en los Estados Unidos
- Históricamente, estos neumáticos para desecho ocupaban espacio en vertederos u ofrecían el caldo de cultivo perfecto para mosquitos y roedores cuando se los apilaba o se tiraban ilegalmente
- Afortunadamente, ahora existe mercado para el 82% de esos neumáticos, en 1990 ese porcentaje era del 17%.
- Estos mercados, de reciclaje y uso beneficioso siguen creciendo
- Los neumáticos desechados que restan siguen siendo apilados en montones o en vertederos

Neumáticos Enteros y Cortados, Productos Estampados y Sellados

- Los neumáticos de desecho pueden reciclarse:
  - Cortándolos, perforándolos y estampándolos en distintos productos de caucho después de retirar su banda de acero
- Los productos reciclados incluyen:
  - Esterillas, cinturones, empaques de juntas, suelas de calzado, parachoques para muelles, impermeabilizadores, silenciadores, percheros, calces y arandelas
- Los neumáticos enteros pueden reciclarse o reutilizarse como:
  - Barreras antichoque en autopistas, p arachoques en puertos deportivos y para una variedad de propósitos agrícolas

Mercados Para Neumáticos de Chatarra

- Los 3 mercados más grandes para la chatarra de neumáticos son:
  - Combustible derivado de neumáticos
  - Aplicaciones de ingeniería civil
  - Aplicaciones de caucho triturado/hormigón asfáltico engomado
- Tanto el uso de reciclaje como el uso beneficioso de los restos de neumáticos se ha expandido mucho en la última década por el creciente énfasis en el reciclado y uso beneficioso por parte de autoridades estatales, locales y federales, la industria, y otras asociaciones
- Desgraciadamente, incluso con los importantes niveles de utilización y esfuerzos de reciclaje en marcha, no todos los restos de neumáticos se usan de forma beneficiosa

Combustible Derivado de Neumáticos

- Los neumáticos pueden usarse como combustible - conocido como combustible derivado de neumático (TDF)- ya sea despezado o entero dependiendo del tipo de dispositivo de combustión.
- Los neumáticos se usan normalmente como un suplemento para combustibles tradicionales como el carbón o la madera
- En 2003, 130 millones de neumáticos de desecho se usaron como combustible (alrededor del 45% de todos los generados), lo que supone un aumento desde los 25,9 millones (10.7% de todos los generados) en 1991
- El uso de neumático como combustible tiene varias ventajas:
  - Los neumáticos producen la misma cantidad de energía que el petróleo y un 25% más que el carbón
  - Los residuos de ceniza del TDF puede tener menor contenido de metales pesados que algunos carbones
  - Produce emisiones Nox más bajas cuando se compara con muchos tipos de carbón en EE.UU., especialmente los carbones con alto contenido de azufre

Aplicaciones De Ingeniería Civil

- El mercado de ingeniería civil engloba un amplio rango de usos para los neumáticos sobrantes
- En casi todas las aplicaciones, el material de neumáticos de desecho reemplaza a otro material usado en construcción como los materiales de relleno ligero, bloques aislantes de arcilla expandida o poli estireno, agregado para drenaje, o incluso relleno para suelos
- Una cantidad considerable de los restos de neumático para aplicaciones de ingeniería civil proceden de proyectos con montones
- Los neumáticos que se recuperan de los montones suelen estar más sucios que los de otras fuentes de neumáticos de desecho y normalmente se trituran
- Los hilos de neumático grandes pueden usarse para relleno de cementación y en proyectos de vertedero

Agregados Derivados de Neumáticos (TDA)

Definición:

Las piezas de neumático procesado tienen una forma consistente y miden generalmente entre 25 mm (1 pulgada) y 300 mm (12 pulgadas) de tamaño.

Aplicaciones De Ingeniería Civil

- Las aplicaciones en ingeniería civil incluyen:
  - Relleno subterráneo y cementaciones
  - Relleno para muros de contención y soportes de puentes
  - Aislamiento de cimientos y drenaje de borde lateral para carreteras
  - Capa anti-vibración bajo las líneas férreas
  - Aplicaciones de vertedero
  - Campos de drenaje de sistema séptico

Relleno subterráneo y Cementaciones

- Los hilos de neumático pueden usarse para construir cementaciones en suelos débiles y comprimibles
- Los hilos de neumático son adecuados para esta aplicación debido a su peso ligero.
- Para la mayoría de proyectos, el uso de tiras de neumático como material de relleno ligero es significativamente más barato que otras alternativas.
- Las aplicaciones para relleno de suelo y diques incluyen: proteger las carreteras de la erosión, mejorar la estabilidad de pistas de gran pendiente en las carreteras y reforzar las arcenes

Relleno Para Muros de Contención y Soportes de Puentes

- El menor peso de los hilos de neumático reduce la presión lateral del terreno y permite construir muros más finos y más baratos
- Los hilos de neumático también puede reducir problemas con la acumulación de agua y escarcha detrás de los muros porque son de drenaje libre y ofrecen buen aislamiento térmico

Relleno Subterráneo y Terraplenes

- En climas fríos, el exceso de agua puede eliminarse cuando los suelos de base se descongelen.
- Colocar una capa de tiras de neumático de 6 a 12 pulgadas bajo una carretera puede evitar que el terreno bajo la superficie se congele.
- Además, la alta permeabilidad de las tiras de neumático permite que el agua se drene bajo las carreteras, evitando así el daño a su superficie

Vertederos

- La construcción y operación de vertederos es una aplicación con creciente mercado para los hilos de neumático
- Los hilos de neumático de desecho pueden reemplazar otros materiales de construcción que hubieran tenido que comprarse
- Por ejemplo, los neumáticos de desecho pueden usarse como relleno posterior ligero en sistemas de recolección/respiradero de gas
- También pueden usarse en cierres y tapado de vertedero, así como material para cubierta diaria

Campos de Drenaje de Sistema Séptico

- Algunos estados como Alabama, Florida, Georgia, South Carolina y Virginia permiten el uso de hilos de neumático en la construcción sobre el terrenos de drenaje para sistemas sépticos
- El material derivado de neumático reemplaza el relleno de piedra tradicional, pero reduce el gasto y mano de obra para construir los campos de drenaje
- Las migas de neumático también absorben más agua que la piedra y pueden transportarse más fácilmente gracias a su poco peso

Otras Aplicaciones en Ingeniería Civil

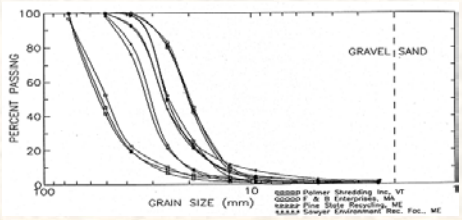
- Material superficial para campos deportivos
- Sustituto de gravilla
- Drenaje en cimientos de edificios y aislamiento de cimientos de edificios
- Barreras para control de la erosión/escurrimiento de agua de lluvia (neumáticos enteros)
- Establecimiento de pantanos/cenagales (neumáticos enteros)
- Barrera antichoque alrededor de pistas de carrera (neumáticos enteros)

Propiedades Para Ingeniería de TDA (Según Humphrey, 2003)

1. Gradación
2. Gravedad específica y capacidad de absorción
3. Comprimibilidad
4. Módulo de elasticidad
5. Consolidación dependiente del tiempo de los rellenos con TDA
6. Presión lateral del terreno
7. Resistencia al corte
8. Conductividad hidráulica (permeabilidad)
9. Conductividad termal

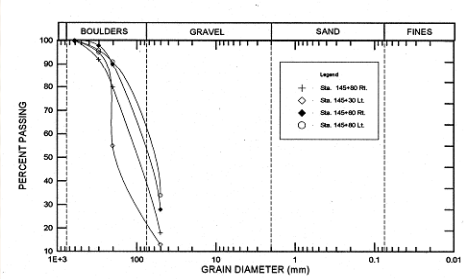
Gradación

- Gradación generalmente uniforme (mismo tamaño)
- El tamaño máximo varia de acuerdo a la fabricación
- Prueba de acuerdo a ASTM D 422



Gradación

- 12" de tamaño máximo:



Gravedad Específica y Capacidad de Absorción

Hilos de neumático	Gravedad Especifica			Capacidad de Absorción de agua (%)	Referencia
tipo	Masa	Superficie seca sat.	Aparente		
Vidrio cinturado	----	----	1.14	3.8	(1)
Vidrio cinturado	0.98	1.02	1.02	4	(2)
Acero cinturado	1.06	1.01	1.10	4	(2)
Amalgama	1.06	1.16	1.18	9.5	(3)
Amalgama (Pine State)	----	----	1.24	2	(1)
Amalgama (Palmer)	----	----	1.27	2	(1)
Amalgama (Sawyer)	----	----	1.23	4.3	(1)
Amalgama	1.01	1.05	1.05	4	(2)
Amalgama	----	0.88 to 1.13	----	----	(4)

Peso de la Unidad Compactada

- Suelta, de 21,3 a 30,9 pcf (sin compactar)
- 50 a 60% del estándar 38,3 a 40,1 pcf
- Estándar, de 39,5 a 40,7 pcf
- Modificada, de 41,2 a 42,7 pcf
- Rango de compactado seco = de 38 a 43 pcf
- Suelo típico 125 pcf
- También hay datos disponibles para la amalgama de TDA/compuestos de tierra

Comprimibilidad (3 razones)

1. La sedimentación que ocurre durante el primer o segundo mes después de la colocación del relleno
2. El peso unitario sobre el terreno varia según el esfuerzo de compactación
3. Puede ser necesario considerar deflexiones causadas por la carga temporal (Ej., carga de rueda)

Comprimibilidad

Definición: La susceptibilidad de un material al cambio de volumen debido a cambios de tensión

Debido a su porosidad y alto contenido de caucho, los TDA son altamente comprimibles bajo ciertas condiciones de carga.

Los TDA pueden comprimirse hasta un máximo del 50% bajo cargas normales altas.

Presión Lateral del Terreno

- La presión lateral del terreno es la presión ejercida por el material de relleno en la pared de una estructura como un muro de contención
- Puede determinarse a partir de los coeficientes de presión lateral del terreno, los que se calculan al dividir la tensión horizontal por la tensión vertical.
- **Índice de Poisson, μ, relaciona la deformación** horizontal con la deformación vertical
- La siguiente tabla incluye los valores de coeficiente de presión lateral del terreno y el índice de Poisson.

Presión Lateral del Terreno

Rango de tamaño de la partícula (pulgada)	Tipo de hilo de neumático	Origen de los hilos de neumático	K_o	μ	Referencia
2	Mezclada	Sawyer Environmental	0.44	0.30	(1)
3	Mezclada	Palmer Shredding	0.26	0.20	(2)
2	Mezclada	Pine State Recycling	0.41	0.28	(2)
1	Vidrio	F & B Enterprises	0.47	0.32	(2)
----	----	----	----	0.3 to 0.17	(3)
2	Mezclada	Maust Tire Recycles	0.4[a]	0.3	(4)

Notas: a. Para una tensión vertical menor a 25 psi.

Referencias:
(1) Manion and Humphrey (1992); Humphrey and Manion (1992)
(2) Humphrey, et al. (1992, 1993); Humphrey and Sandford (1993)
(3) Edil and Bosscher (1992, 1994)
(4) Drescher and Newcomb (1994)

Resistencia al Corte

- Un aparato de corte directo y ASTM D 3080 o aparato de corte triaxial puede usarse para medir la resistencia al corte de los hilos de neumático
- Cuando se analizan los hilos de neumático, deben usarse muestras de tamaño más grande que los necesarios para otros suelos. Esto es debido al mayor tamaño de partícula de los hilos de neumático
- Los aparatos de corte triaxial son de disponibilidad limitada, así que generalmente las pruebas se realizan con hilos de neumático de 1 pulgada o menos
- El aparato de corte triaxial tampoco debería usarse para hilos de neumático con cinturones de acero salientes

Permeabilidad

La permeabilidad de los hilos de neumático es mucho mayor que la de suelos granulados, con valores experimentales que van desde 0,58 cm./s a 23,5 cm./s. A menudo, la permeabilidad de los TDA supera la capacidad de flujo del equipo de prueba.

La tabla en la siguiente diapositiva enumera los valores de conductividad hidráulica (permeabilidad) para los hilos de neumático.

Resumen de las conductividades hidráulicas informadas de TDA

Tamaño de la partícula (pulgada)	Índice de vacío	Densidad en seco (pcf)	Conductividad hidráulica (cm/seg)	Referencia
2.5		29.0	5.3 to 23.5	Bressette (1984)
2.5		37.9	2.9 to 10.9	
22		29.3	4.9 to 59.3	
22		38.1	3.8 to 22.0	
1.5	----	----	1.4 to 2.6	Hall (1990)
0.75	----	----	0.8 to 2.6	
2	0.925	40.2	7.7	Humphrey, et al. (1992),(1993)
2	0.488	52.0	2.1	
3	1.114	37.5	15.4	
3	0.583	50.1	4.8	
1.5	0.833	38.8	6.9	
1.5	0.414	50.4	1.5	
1.5		0.653	0.58	Ahmed (1993)
1.5	0.693	42.0	7.6	Lawrence, et al. (1998)
1.5	0.328	53.6	1.5	
3	0.857	41.7	16.3	
3	0.546	50.1	5.6	

Conductividad Termal

- La conductividad térmica de los hilos de neumático es menor que la de suelos tradicionales y varia dependiendo del tamaño de los hilos
- A medida que aumenta el tamaño de las partículas y puede circular más aire en los vacíos, la conductividad térmica aumenta y los hilos de neumático pierden efectividad como aislantes.
- Para proyectos de aislamiento, deberían usarse hilos de neumático con un tamaño máximo de 3 pulgadas.
- La siguiente diapositiva presenta la conductividad térmica como una función de la densidad y el índice de vacío:

Conductividad térmica aparente de hilos de neumático secados al aire

Muestra	Densidad (pcf)	Densidad (Mg/m³)	Índice de vacío	Conductividad térmica aparente (Btu/hr-ft-°F)	Conductividad térmica aparente (W/m-°C)	Sobrecarga
gravilla	117.6	1.88	0.41	0.295	0.510	ninguna
	12 1.6	1.95	0.36	0.326	0.563	la mitad
	123.0	1.97	0.34	0.345	0.596	completa
F&B-g	38.5	0.62	0.85	0.120	0.207	ninguna
	43.3	0.69	0.64	0.113	0.195	la mitad
	45.4	0.73	0.56	0.114	0.197	completa
F&B-s	39.1	0.63	0.85	0.145	0.251	ninguna
	42.8	0.69	0.69	0.130	0.225	la mitad
	45.3	0.73	0.60	0.134	0.232	completa
Palmer	39.7	0.64	0.998	0.159	0.275	ninguna
	45.1	0.72	0.76	0.119	0.206	la mitad
	48.5	0.78	0.63	0.125	0.216	completa
Pine State	39.2	0.63	0.97	0.158	0.273	ninguna
	45.4	0.73	0.7	0.139	0.240	la mitad
	49.6	0.79	0.56	0.114	0.197	completa
Sawyer	36.6	0.58	1.13	0.184	0.318	ninguna
	41.0	0.66	0.87	0.148	0.256	la mitad
	43.7	0.70	0.76	0.156	0.270	completa

Por Qué Usar Los TDA

- Los agregados derivados de neumáticos (TDA) tienen propiedades que necesitan los ingenieros civiles, directores de obras públicas y contratistas.
  - √'Poco peso
  - √'Alta permeabilidad
  - √' Presión de terreno baja
  - √'Buen aislamiento térmico
  - √'Duradero
  - √'Comprimible
  - √'Puede ser económico
- Ayuda a resolver un problema medioambiental importante
- Conserva los recursos naturales del agregado

¿Qué Son Los TDA de Tipo A?

TDA de tipo A: típico, tres pulgadas menos
1 tonelada = 1,4 yardas cúbicas
1 tonelada = 100 neumáticos (PTE)
Densidad sobre el terreno = 45-58 libra/ft³
Permeabilidad › 1 cm/sec

Usos: material de drenaje, campos de lixiviado séptico, capas antivibración bajo líneas férreas de tren ligero, medios de recolección de gas, material para recolección de lixiviado

¿Qué es Los TDA Tipo B?

TDA tipo B: 12 pulgadas menos, típicamente

- 1 tonelada = 1,5 yardas cúbicas
- 1 tonelada = 100 neumáticos (PTE)
- Densidad sobre el terreno = 45-50 kg/ft³
- Permeabilidad > 1 cm/seg para muchas aplicaciones

Usos: relleno ligero para cementaciones, relleno ligero detrás de muros de contención

Dana Humphrey, 2005

Tipos de Relleno ASTM D 6270

Rellenos de clase I:

– Los TDA colocado en capas de espesor inferior a 1 m (3 pulgadas). Debe tener un máximo de 50% (por peso) que sobrepase un tamiz de 38 mm (1,5 pulgadas).

Debe tener un máximo de 5% (por peso) que sobrepase un tamiz de 4,75 mm (0,19 pulgadas).

Las aplicaciones de muestra de rellenos de Clase I se suelen usar en lixiviado de vertederos y aplicaciones de control de gas.

ASTM D 6270-98 Tipos de Rellenos

Rellenos de clase II:

–TDA colocado en capas con espesor entre 1 m (3 pulgadas) a 3 m (10 pulgadas).

Debe tener un máximo de 25% (por peso) que sobrepase un tamiz de 38 mm (1,5 pulgadas).

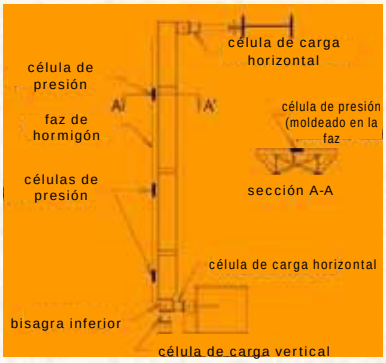
Debe tener un máximo de 1% (por peso) que sobrepase un tamiz de 4,75 mm (0,19 pulgadas).

Las aplicaciones representativas de los rellenos de Clase II son relleno posterior de muros de contención, relleno de cementaciones y reparación de pendientes.

Introducción a la Prueba de Muro de la Universidad de Maine

- La instalación para la prueba de muro de contención es la segunda más grande del mundo (16 pies de alto, superficie de 15 por 15 pies, sobrecarga de 750 psf)
- Se utilizaron hilos de neumático usados de 3 pulgadas de máximo, a los que se le había extraído las bandas de acero y hilos de 1,5 pulgadas como máximo y con gran parte de las bandas de acero retiradas
- Los hilos de neumático se colocaron en levantamientos de 8 pulgadas y se compactaron con una apisonadora de 2300 libras

Prueba a Escala Total: Prueba de Muro de la Universidad de Maine



Construcción Del Muro de Pruebas en la Universidad de Maine

Interior Del muro de Pruebas en la Universidad de Maine

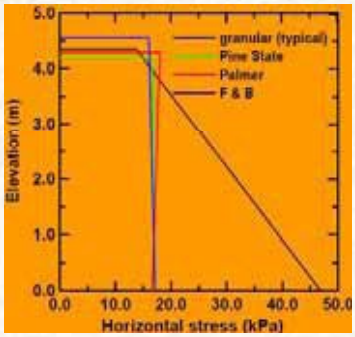
Cargando el Relleno TDA

Compactando Los TDA

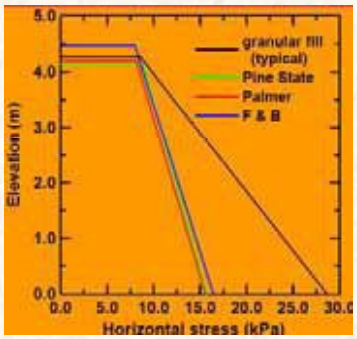
Bloques de Sobrecarga

Instalación Totalmente Cargada

Distribución de tensión en reposo a 35.9 KPa de sobrecarga



Tensión con 35.9 KPa de sobrecarga y 0.01H de rotación



Después de retirar el muro posterior

Primer Plano de Los TDA

Retiro de Los TDA Después de la Prueba

Beneficios de los TDA como relleno posterior

- Menor presión en el muro
- El coeficiente de presión lateral del terreno no es constante, varia con la profundidad
- Los resultados de presión lateral de terreno en reposo casi constante según lo visto en la diapositiva anterior
- Menos barra de refuerzo y/o muro de contención más fina
- Eliminación de neumáticos de chatarra

Aplicaciones de TDA

Relleno ligero posterior para muros de contención, Riverside (California)

Caso de Estudio Para un Relleno Posterior de Muro de Contención

Muro 119, Riverside, CA

- PROBLEMA: Ensanchamiento de la zona oeste de la ruta 91 usando TDA: ¿es tan efectivo como un relleno de suelo típico?

Historial Del Muro de Contención de la Ruta 91

- Muro de contención de 12 pies de alto, con 9,8 pies de TDA envuelto en una membrana geotextil para evitar la intrusión del suelo

Experimentación

Medición: Instalación de cuatro tipos de indicadores: válvulas de tensión, células de presión, sensor de temperatura y medidor de inclinación

Muro 119, Construcción de un Muro de Contención

Muro 119, Instalación Del Medidor de Tensión

Muro 119, Instalación de la Célula de Presión

Muro 119, Instalación Del Sensor de Temperatur

Muro 119, Instalación Del Medidor de Inclinación

Muro 119, Colocación de Los TDA

Muro 119, Compactación de Los TDA

Muro 119, Terminado

Resumen del Proyecto

- Se usaron 1130 yardas cúbicas de hilos de neumático tipo B para un relleno de 262 pies de largo.
- Esto equivale a 76.500 PTE (equivalente de neumático por pasajeros)
- Encuentre más datos en www.usetda.com

Resumen

- Trasfondo
- Los TDA posee propiedades que necesitan los ingenieros
- Muro de prueba a escala completa con TDA como material de relleno posterior
- Estudio de caso
- Puede usar un montón de neumáticos de desecho

GRACIAS

http://www.cp2info.org/center

¡El futuro se decide hoy!

Módulos Didácticos

- Primera parte: Aplicaciones de Agregados derivados de neumáticos (TDA, en inglés) en vertederos
- Segunda parte: Consideraciones de ingeniería medioambiental en el uso de TDA en vertederos sanitarios

Trasfondo

- En California se generan casi 40,2 millones de neumáticos de desecho cada año
- La agencia medioambiental EPA en California calcula que 1,5 millones de estos neumáticos se amontonan o abandonan de forma ilegal

- Es necesario encontrar aplicaciones para estos neumáticos para evitar los riesgos potenciales que suponen tanto para la salud de las personas como para el medio ambiente

Agregados Derivados de Neumáticos

Los agregados derivados de neumáticos (TDA) proceden de neumáticos de caucho que se han procesado en forma y tamaño consistente, generalmente entre 1 y 12 pulgadas de tamaño.

Beneficios Del Uso de TDA en Aplicaciones de Ingeniería

- Los agregados derivados de neumáticos (TDA) tienen propiedades que necesitan los ingenieros civiles, directores de obras públicas y contratistas.
  - Peso ligero
  - Drenaje libre/alta permeabilidad
  - Presión de terreno baja
  - Buen aislamiento térmico
  - Duradero
  - Comprimible
  - Puede ser la solución más barata

- Ayuda a resolver un problema medioambiental importante
- Conserva los recursos naturales del agregado

Propiedades de los TDA Tipo A

- Tamaño típico: una a tres pulgadas
- Peso unitario: 1 tonelada = 1,4 yardas cúbicas
- 1 tonelada de tipo A = 100 neumáticos por pasajero
- Alta permeabilidad › 1 cm/sec
- Usos: material de drenaje, campos de lixiviado séptico, capas antivibración bajo líneas férreas de tren ligero Medio de recolección de gas, material de recolección de lixiviado.

Dana Humphrey, 2005

Propiedades de los TDA Tipo B

- Tamaño típico: 12 pulgadas o menos
- Peso unitario: 1 tonelada = 1,5 yardas cúbicas
- 1 tonelada de tipo B = 100 neumáticos por pasajero
- Alta permeabilidad › 1 cm/sec
- Usos: relleno ligero para cimentaciones, relleno ligero para muros de contención, medio de recolección de gas, material de recolección de lixiviado

Dana Humphrey, 2005

ASTM D 6270 Especificaciones de TDA

Los hilos de neumático Clase I tendrán un máximo de 50 por ciento (por peso) pasando por un tamiz de malla cuadrada de 1-1/2 pulgadas (38 mm), y un máximo de 5 por ciento que pase por un tamiz Nº 4 (4,75 mm)

- Los rellenos de clase I se utilizan típicamente en lixiviado de vertederos y control de gas

Los hilos de neumático Clase II tendrán un máximo de 25 por ciento (por peso) pasando por un tamiz de malla cuadrada de 1-1/2 pulgadas (38 mm), y un máxim o de 1 por ciento que pase por un tamiz Nº 4 (4,75 mm)

- Los rellenos de clase II se usan cuando los TDA se coloquen en capas con espesor entre 1 m (3 pulgadas) a 3 m (10 pulgadas).

Normas ASTM

ASTM 6270 como normativa básica

- Un informe realizado por GeoSyntec Consultants, Inc., para el consejo de gestión de residuos CIWMB sugiere que los TDA usados para recolección de gas debería tener una dimensión máxima en cualquier dirección de 12 pulgadas y cumplir este cronograma:

TAMAÑO DE TAMIZ EN PULGADAS (MM)	PASO MÍNIMO (% POR PESO)
12 (300)	100
6 (150)	95
3 (75)	50
#4 (4.75)	5

Recomendaciones ASTM

- "La responsabilidad del ingeniero de diseño es determinar la idoneidad del uso de neumáticos de desecho en una aplicación particular y seleccionar las pruebas y especificaciones aplicables para facilitar la construcción y la protección medioambiental".
- La norma ASTM D6270 recomienda que los proyectos con agregado derivado de neumáticos no tenga un espesor superior a 3 m (10´)
- A la fecha, ASTM no recomienda el uso de agregados derivados de neumáticos bajo la capa freática

TDA Para Aplicaciones de Vertedero

- Operaciones de vertedero/capas de drenaje
- Sistema de Recolección y Eliminación de Lixiviado
- Zanjas de recirculación del lixiviado
- Zanjas de extracción de gas en vertederos
- Protección para Tubería de Gas en Vertederos

Operaciones/Capa de Drenaje

- En vertederos, la geomembrana o capa impermeable evita que el agua que drena del vertedero, o lixiviado, pase al suelo y a las aguas subterráneas
- La capa de operaciones separa los residuos y protege el sistema de contención subyacente del vertedero y permite que el lixiviado drene hacia un sistema de eliminación
- Los TDA son el candidato ideal para usar en una capa de operación

Operaciones/Capa de Drenaje

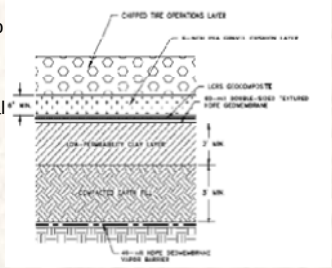
- El código federal Code of Federal Requirements (título 40, parte 258) requiere que los vertederos MSW instalen una capa de drenaje de lixiviado:
  - Las nuevas unidades MSWLF y expansiones laterales deben construirse... con un revestimiento compuesto...y un sistema de recolección de lixiviado diseñado y construido para mantener una capa de lixiviado con una profundidad inferior a 30 cm sobre el revestimiento."

TDA Como Capa de Operaciones/Drenaje

- Se construyó un vertedero a escala total de un bioreactor en el condado Yolo. El objetivo del proyecto era gestionar los residuos sólidos municipales para lograr la descomposición rápida de los residuos orgánicos, generación y captura de gas máxima del vertedero y mínimas consecuencias medioambientales a largo plazo

TDA Como Capa de Operaciones/Drenaje

- Tres de las células del bioreactor construido en el vertedero del condado Yolo tenían un diseño de revestimiento base que usaba TDA
- Este sistema de revestimiento compuesto fue construido en 1999 y fue diseñado para superar las exigencias del código federal Code of federal requirements (titulo 40, parte 258) y el titulo 27 del CCR que exige que los vertederos MSW instalen una capa de drenaje de lixiviado.
- Se usaron 1,5 millones de neumáticos de desecho en este proyecto



TDA Como Capa de Operaciones/Drenaje

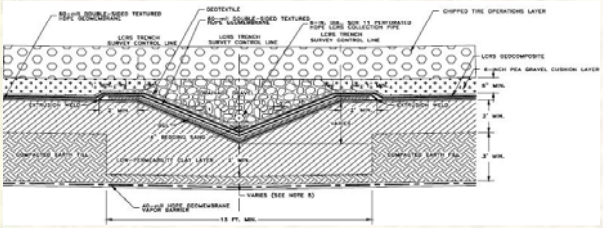
- Los TDA se colocaron en una capa de 2 pies sobre 6 pulgadas de gravilla en el vertedero del condado Yolo.
- Los TDA demostraron ser una alternativa barata a los agregados, al tiempo que se utiliza de forma efectiva un producto de desecho con propiedades físicas beneficiosas en aplicaciones de vertedero

TDA Como Medio de Recolección de Lixiviado

- Debido a la alta permeabilidad de los TDA, es un medio excelente para la recolección del lixiviado
- Los TDA se han usado como material para relleno de sumideros donde drena el lixiviado a un punto bajo lleno de TDA. El alto número de vacíos en los TDA permite que grandes cantidades de lixiviado sean drenadas y recolectadas para su eliminación.

Sistema de Recolección de Lixiviado

- El bioreactor del condado Yolo utiliza los TDA en un sumidero de recolección de lixiviado
- Los vacíos en los TDA permiten que el lixiviado fluya a una depresión para su recolección y eliminación



El Uso de TDA en un Sistema de Recirculación de Lixiviado

- En 2002, se construyo una zanja de recirculación de lixiviado en el relleno sanitario del Condado Audobon (IA)
- El sistema se usa para recircular el lixiviado según fuera necesario de vuelta al área de relleno del vertedero a través de la zanja de recirculación, cuando los niveles superiores de la laguna de almacenamiento del lixiviado a niveles críticos durante los meses húmedos
- Se utilizó TDA como rellenar y aislar un tubo perforado situado dentro de la zanja excavada. La zanja se excavó dentro de los límites de residuos de la instalación

El Uso de TDA en un Sistema de Recirculación de Lixiviado

- La zanja fue excavada en el residuo existente para permitir que el lixiviado rebalsará para drenar de vuelta al vertedero
- TDA con un tamaño nominal de 3 a 4 pulgadas sirvieron como relleno posterior en capas de 3 a 5 pies
- Los TDA aislaban el tubo de daños al tiempo que aseguraban que el lixiviado drenara libremente a través del tubo

El Uso de TDA en un Sistema de Recirculación de Lixiviado

- El vertedero Metro Park East en Mitchellville (IA) construyo un sistema de zanja de recirculación de lixiviado en 2003
- El sistema se usa según sea necesario para recircular el lixiviado al área de relleno del vertedero, cuando los niveles superiores de la laguna de almacenamiento del lixiviado llega a niveles críticos durante los meses húmedos
- Un tubo perforado de 4 pulgadas de diámetro se aisló con TDA de valor nominal de 2 pies de 3 a 4 pulgadas y se relleno con arcilla no compactada

Sistema de Recirculación de Lixiviado

- Según sea necesario, el lixiviado se bombea desde la laguna de contención y se inyecta en los residuos existentes a través de la zanja de recirculación del lixiviado

- Foto: Laguna de contención de lixiviado

El uso de TDA en un desagüe de lixiviado accionado por el pie

- En 2002, el relleno sanitario regional del Condado de Des Moines, en Burlington (IA) construyó un drenaje de lixiviado accionado con el pie
- Esta estructura utilizaron TDA como medio de drenaje para recolectar el lixiviado desde la base del vertedero
- Se excavó una zanja de recolección al fondo del levantamiento del vertedero y se coloco un tubo perforado HDPE de 4" en la base de la zanja
- La zanja fue rellenada con 1.004 toneladas de TDA de 4 a 6 pulgadas de tamaño nominal
- 24" de suelo sin compactar se colocó sobre los TDA para permitir el cultivo de vegetación como forma de controlar la erosión

El uso de TDA en un desagüe de lixiviado accionado por el pie

- Zanja excavada en la base del levantamiento esperando la colocación del tubo perforado de 4 pulgadas y el relleno de TDA

El Uso de TDA en un Desagüe de Lixiviado Accionado Por el Pie

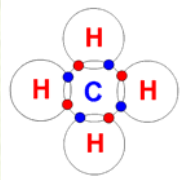
- Se colocó un geotextil en la parte superior de los TDA para servir de filtro. Se colocarán dos pies de suelo sin compactar encima del revestimiento para permitir el crecimiento vegetativo

Gas de Vertedero

- Un producto de la descomposición del material orgánico en condición anaeróbica es el gas metano
- El metano, un gas de efecto invernadero, es 21 veces más potente que el dióxido de carbono
- Si se permite recolectar en concentraciones superiores al 5%, el gas de metano tiene el potencial de combustión espontánea
- Es necesario expulsar y recolectar el gas metano

Normativa Federal Sobre el Gas de Vertederos

- El código de requisitos federales (titulo 40, articulo 258.23) requiere que los vertederos MSW aseguren que la concentración de gas metano no exceda el límite explosivo inferior para el metano en los límites de la propiedad.

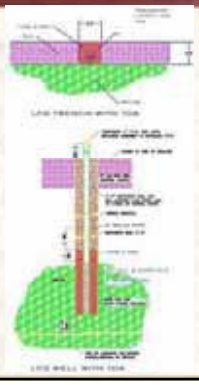


Sistemas de Recolección de Gas en Vertederos

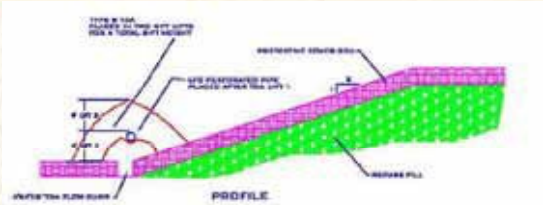
- Las propiedades de los TDA les convierten en candidatos excelente para el uso en aplicaciones de recolección de gas.
- Los TDA poseen una alta permeabilidad, debido a los vacíos del material, creando un medio ideal por el que puede pasar fácilmente el metano.
- 1,5 yardas cúbicas de TDA utiliza 100 neumáticos de desecho

Zanjas de Recolección de Gas en Vertederos

- La alta permeabilidad de los TDA les convierte en materiales ideales para el aislamiento del gas en tubos de recolección
- Las trincheras verticales que pasan a través del sellado impermeable del vertedero dejan que el gas metano escapen del vertedero hacia un sistema de recolección



Sistema de Recolección de Gas, Sin Zanjas

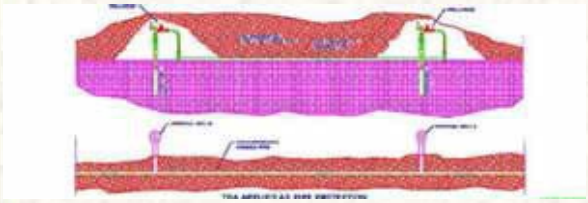


- El metano se expulsa a través del sellado no permeable de pie, situado en al fondo del ascensor. Los TDA se colocan sobre la puntera para permitir que el metano entre en el tubo perforado de recolección
- Se recomienda los TDA tipo B

Sistemas de Protección Para la Recolección de Gas en Vertederos

- El gas de vertederos puede recolectarse en tubos de recolección horizontales Estos tubos son perforados para permitir que el gas pase a través de ellos. Los TDA se colocan sobre los tubos para dejar que el gas pase al tiempo que se evita que los residuos sólidos no obstruyan ni dañen el tubo

Protección Para Tubería de Gas en Vertederos



- Manantiales de recolección de gas protegidos por TDA tipo B

Sistema de Protección de Recolección de Gas

- Sistema de recolección de gas protegido por TDA tipo B

TDA Como Cubierta Alternativa Diaria

- Después de cada día de operación, los vertederos deben colocar un material de cubierta para contener los residuos
- Esto es necesario para:
  - Mejorar el acceso al vertedero
  - Reducir la cantidad de basura que puede salir volando
  - Disminuir el riesgo de enfermedades (pájaros, animales e insectos que se alimentan de residuos)
  - Disminuir los olores
  - Reducir las posibilidades de incendios

¿PREGUNTAS?

Consideraciones de Ingeniería Medioambiental en el Uso de TDA en Vertederos Sanitarios

Departamento de Ingeniería Civil,
California State University, Chico

Presentación General

Uso de TDA en lugar de agregado de arena o gravilla

- Evaluación del ciclo vital de las emisiones GHG
- Aspectos de ingeniería de TDA en comparación con los agregados
- Aspectos de calidad de agua
-

Uso de TDA como cubierta diaria alternativa (ADC)

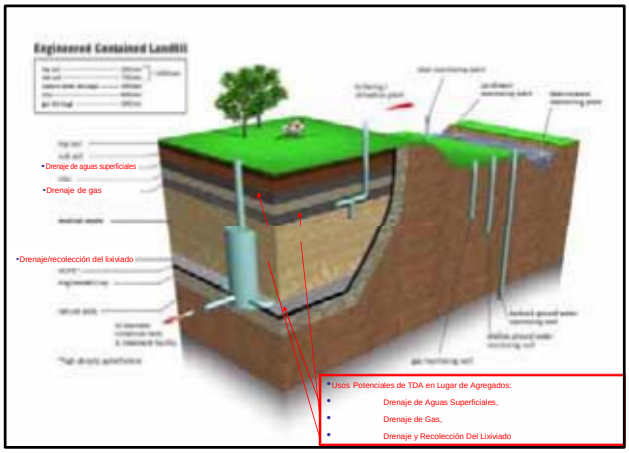
- Evaluación del ciclo vital de las emisiones GHG
- Limitaciones de los TDA como cubierta

Uso de neumáticos enteros en vertederos

Uso de Agregado Derivado de Neumático (TDA) en Lugar de Agregados de Arena o Gravilla

Los TDA pueden usarse en lugar de la arena o gravilla para:

- sistemas de recolección de lixiviado,
- capa principal de drenaje para un sistema de revestimiento
- capa de drenaje dentro del sistema de cubierta final, y
- medio para sistemas de expulsión de gas de vertedero



- Instalación de Cubierta Protectora de Arena Para Vertedero

Instalación de Cubierta Protectora de Gravilla Para Vertedero

TDA Colocados en un Sistema de Recolección Del Lixiviado

Evaluación de Ciclo de Vida de Consumo Energético y Emisiones GHG Para TDA y Agregado Virgen

La Figura 1 muestra las fuentes y sumideros de GHG con el ciclo vital del material

Figura 1: Fuentes y Sumideros GHG Asociados Con el Ciclo Vital Del Material

Evaluación de Ciclo de Vida de Consumo Energético y Emisiones GHG Para TDA y Agregado Virgen

Las decisiones de gestión de residuos afectan las emisiones GHG por el consumo de energía asociado con el reciclaje.

Esta energía incluye

- Procesamiento de materiales reciclados;
- Transporte de materiales;

Evaluación de Ciclo de Vida de Consumo Energético y Emisiones GHG Para TDA y Agregado Virgen

Reciclaje:

- Los materiales reciclados se usan en lugar de los suministros vírgenes en el proceso de manufactura.
- El material puede reciclarse de dos formas:
  - El material de ciclo cerrado se recicla en el mismo producto
  - El material de ciclo abierto se recicla en otros productos

Evaluación de Ciclo de Vida de Consumo Energético y Emisiones GHG Para TDA y Agregado Virgen

Reciclaje:

- Normalmente se asume que el reciclado disminuye las emisiones GHG debido al menor consumo de energía comparado con la fabricación con suministros vírgenes.
- Es posible que esto no sea cierto en todos los casos, especialmente con el reciclado de ciclo abierto.
- En consecuencia, debería realizarse un análisis del ciclo vital para determinar los requisitos de energía y las emisiones GHG debido a los procesos de reciclado.

Evaluación de Ciclo de Vida de Consumo Energético y Emisiones GHG Para TDA y Agregado Virgen

- Debido a que los TDA son materiales reciclados de ciclo abierto, se debería llevar a cabo una evaluación de ciclo vital del consumo de energía y emisiones GHG para determinar como se compara el uso de los TDA con los agregados de arena y gravilla usados normalmente en el diseño de vertedero.
- El análisis puede dividirse en dos partes:
  - Los requerimientos energéticos y las emisiones GHG del proceso
  - Los requerimientos energéticos y las emisiones GHG del transporte

Evaluación de Ciclo de Vida de Consumo Energético y Emisiones GHG Para TDA y Agregado Virgen

Emisión de energía del proceso

1. Agregado virgen

- La EPA considera que, a nivel nacional, la combustión energética media para producir agregado virgen de piedras aplastadas es de 0,0486 millones de Btu/ton
- Esto da unas emisiones totales del proceso de 0,0009 de MTCE/Ton

Comparando Los GHG

El dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y oxido nitroso (N20) son gases muy diferentes en términos de su potencial para contener el calor Un protocolo internacional ha establecido el CO_2 como gas de referencia para medir el potencial para contener el calor (también conocido como potencial de calentamiento global o GWP). Por definición, el GWP de 1 kilogramo (kg) de CO_2 es 1.

CH_4 tiene un GWP de 21, lo que significa que 1 kg de metano tiene el mismo potencial de contención del calor que 21 kg de CO_2,

N20 tiene un GWP de 310.

Los PEC son los GHG más potentes incluidos en este análisis, los GWP son 6.500 para CF_4 y 9.200 para C_2F_6.

En este informe, las emisiones de CO_2, CH_4, N20 y PCF se han convertido a sus "equivalentes en carbono". Debido a que CO_2 es 12/44 del carbono por peso, 1 tonelada métrica de CO_2 es igual a 12/44 o 0,27 toneladas métricas de equivalente al carbono (MTCE). El valor MTCE por 1 tonelada métrica de cada uno de los otros gases se calcula multiplicando su GWP por un factor de 12/44. (Todos los datos suministrados aquí proceden del Panel intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC), 1995. La ciencia del cambio climático, 1996, Pág. 121.)

Evaluación de Ciclo de Vida de Consumo Energético y Emisiones GHG Para TDA y Agregado Virgen

Emisión de energía del proceso

2. TDA

- La información del procesamiento de hilos de neumático fue calculado asumiendo que el hilo es una trituradora eléctrica de 225 kW Saturno, uno de los modelos más utilizados (Sr. Hinsley, comunicación personal). Esta trituradora de neumáticos produce aproximadamente 7 toneladas/horas de TDA.
- A una carga de 70% con 10% de entrada adicional para bandas transportadoras y cribadoras, la trituradora consumirá alrededor de 25 kw hora/tonelada, o 85.325 Btu/ton o 0,0853 millones de Btu/ton.
- Esto da unas emisiones totales del proceso de 0,0014 de MTCE/Ton

Evaluación de Ciclo de Vida de Consumo Energético y Emisiones GHG Para TDA y Agregado Virgen

Emisión de Energía Del Proceso

Material	Consumo de energía para la Producción de agregados (millones de BTU/tonelada)	Total de emisiones energéticas del proceso (MTCE/tonelada)
Agregado virgen[1] (piedra triturada)	0.0486	0.0009
Hilos de neumático[2]	0.0853	0.0014

Evaluación de ciclo de vida de consumo energético y emisiones GHG para TDA y agregado virgen

Emisiones energéticas del transporte

- La agencia EPA calcula que la combustión energética media necesaria para transportar una tonelada por milla de material en camiones de diesel es aproximadamente 0,00623 Btu.
- Esto da como resultado unas emisiones por transporte de 0,00012 MTCE/tonelada-milla
- Se asumen que las emisiones de transporte por tonelada-milla son las mismas para el agregado virgen que para los TDA como se muestra en la siguiente tabla.

Evaluación de ciclo de vida de consumo energético y emisiones GHG para TDA y agregado virgen

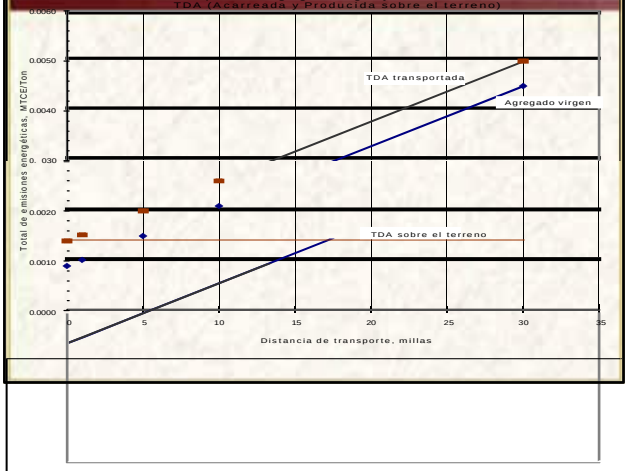
Emisiones Energéticas Del Transporte

Material	Consumo de energía para el transporte de agregados (millones de BTU/tonelada-milla)	Total de emisiones energéticas del transporte (MTCE/tonelada-milla)
agregado virgen[1] (piedra triturada)	0.00623	0.00012
Hilos de neumático[3]	0.00623	0.00012

Evaluación de Ciclo de Vida de Consumo Energético y Emisiones GHG para TDA y Agregado Virgen

- Debido a que los TDA tienen un mayor requerimiento de energía que el agregado virgen por tonelada de material producido, se concluye que las emisiones de transporte serán el factor decisivo para saber si el uso de TDA tendrá mas o menos impacto ambiental por tonelada producida que el agregado virgen.
- La figura 2 muestra la relación entre las emisiones GHG y la distancia de transporte al vertedero tanto para el agregado virgen como para los TDA producidos in situ (en el vertedero) y su transporte.

Figura 2:
Total de Emisiones Energéticas por Tonelada de Material Comparada con la Distancia del Transporte del Agregado Virgen y de los TDA
TDA (Acarreada y Producida sobre el terreno)



Evaluación de Ciclo de Vida de Consumo Energético y Emisiones GHG para TDA y Agregado Virgen

- La Figura 2 muestra que, por peso, los TDA debería producirse sobre el terreno o tan cerca como sea posible del vertedero si se pretende usar como una alternativa al agregado virgen. El agregado seguramente producirá menos emisiones que los TDA sobre el terreno hasta una distancia de transporte de 5 millas según el peso.
- En caso contrario, el uso de TDA podría producir fácilmente más emisiones GHG que el agregado virgen.

Evaluación de Ciclo de Vida de Consumo Energético y Emisiones GHG para TDA y Agregado Virgen

- Sin embargo, los TDA tienen menos peso específico que el agregado de piedra o arena, por lo que se usará un TDA de menor peso en las aplicaciones que el agregado virgen.

$\gamma_{aggregate} = 105\ lb/ft^3$

$\gamma_{TDA} \sim 25\ lb/ft^3$

Evaluación de Ciclo de Vida de Consumo Energético y Emisiones GHG para TDA y Agregado Virgen

- Los datos de emisiones para el procesado y transporte se convierten al factor volumen en las siguientes tablas y se ilustra en la Figura 3.

Evaluación de Ciclo de Vida de Consumo Energético y Emisiones GHG para TDA y Agregado Virgen

Las emisiones energéticas del proceso según el volumen

Material	Consumo de energía para la Producción de agregados (millones de BTU/pies3)	Total de emisiones energéticas del proceso (MTCE/ft3)
agregado virgen[1] (piedra triturada)	0.00255	0.0000427
Hilos de neumático[2]	0.00106	0.0000175

Evaluación de Ciclo de Vida de Consumo Energético y Emisiones GHG para TDA y Agregado Virgen

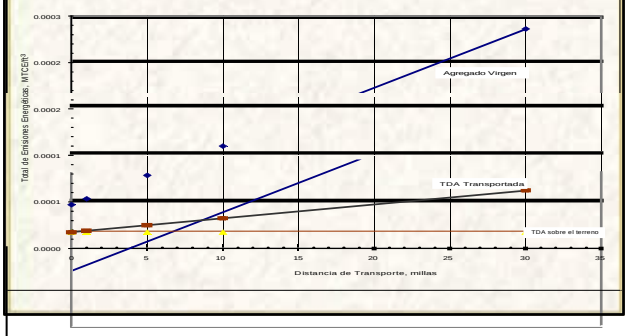
Las Emisiones Energéticas del Transporte Según el Volumen

Material	Consumo de Energía para el Transporte de Agregados (millones de BTU/ pie^3 por milla)	Total de Emisiones Energéticas de l Transporte (MTCE/ pie^3 por milla)
Agregado virgen[1] (piedra triturada)	0.0003271	0.0000063
Hilos de neumático[2]	0.0000779	0.0000015

1. Los datos para agregado virgen
2. Los datos para hilos de neumático

Total de Emisiones Energéticas por pie Cúbico de Material Comparada con la Distancia del Transporte del Agregado Virgen y TDA

Figura 3:
Total de Emisiones Energéticas por pie Cúbico de Material Comparada con la Distancia del Transporte del Agregado Virgen y TDA ((acarreado y producido sobre el terreno))



Evaluación de Ciclo de Vida de Consumo Energético y Emisiones GHG para TDA y Agregado Virgen

- La Figura 3 muestra que, por factor volumen, los TDA producen menos emisiones GHG que el agregado virgen para la energía del proceso y transporte.
- Estos resultados se deben únicamente a las diferencias en peso específico entre los agregados convencionales y TDA, lo que permite usar menos TDA en aplicaciones de agregado en vertederos.

Evaluación de Ciclo de Vida de Consumo Energético y Emisiones GHG para TDA y Agregado Virgen

- Debido a que los TDA son muy comprimibles, como se discutirá abajo, es posible que tenga que usarse más TDA en una aplicación dada que su volumen suelto. Esto puede ocurrir, por ejemplo, en una aplicación de drenaje de lixiviado en el fondo de un vertedero.
- Se recomienda realizar una evaluación del ciclo vital de energía y emisiones para cada aplicación específica de TDA en vertederos.

Aspectos de Ingeniería de TDA en Comparación con los Agregados

Conductividad Hidráulica

Comprimibilidad

Compatibilidad con los Geosintéticos y Revestimiento

Combustibilidad

Problemas de Almacenamiento

Uniformidad y Calidad

Aspectos de Ingeniería de TDA en Comparación con los Agregados

Conductividad Hidráulica

- La conductividad hidráulica de TDA se ha medido en un rango desde 0,0005 hasta 59,3 cm/seg.
- Este amplio rango puede atribuirse a las diferencias en la distribución de tamaño, composición y nivel de compactación de los hilos.

Aspectos de Ingeniería de TDA en Comparación con los Agregados

Conductividad Hidráulica

- El rango inferior de la conductividad ha sido explicado como resultado de hilos más pequeños bajo una tensión vertical.
- La conductividad también disminuye significativamente a medida que aumenta el porcentaje de tierra en los TDA.

Aspectos de Ingeniería de TDA en Comparación con los Agregados

Comprimibilidad

- Los TDA son altamente comprimibles bajo condiciones de carga.
- Bajo cargas altas, los TDA pueden comprimirse hasta un máximo del 50%.

Aspectos de Ingeniería de TDA en Comparación con los Agregados

Comprimibilidad

- La comprimibilidad debería considerarse en el uso de los TDA para el drenaje y capa de recolección de lixiviado en un vertedero
- La investigación ha demostrado que una capa de lixiviado con TDA puede comprimirse un 30% bajo 75 pies de residuos, dejando un espesor efectivo de 8,7 pulgadas.

Aspectos de Ingeniería de TDA en Comparación con los Agregados

Compatibilidad con los Geosintéticos y Revestimiento

- El alambre expuesto de los TDA presenta un riesgo importante de punción para toda capa geosintética utilizada en un vertedero.
- Se recomienda usar una capa de amortiguación granulada entre los TDA y las capas de geomembrana para proteger de punciones.

Aspectos de Ingeniería de TDA en Comparación con los Agregados

Combustibilidad

- Los TDA tienen un punto de inflamación de 580 °F aproximadamente.
- Bajo condiciones adecuadas, los TDA tienen TDA tiene el potencial de crear una reacción de calentamiento interno que podría causar un incendio.

Aspectos de Ingeniería de TDA en Comparación con los Agregados

Combustibilidad

- Las causas potenciales de reacciones de calentamiento interno son:
  - Oxidación de las bandas de acero expuestas
  - Oxidación del caucho
  - Acción microbiana

Aspectos de Ingeniería de TDA en Comparación con los Agregados

Combustibilidad

- Las condiciones que pueden causar reacciones de calentamiento interno de los TDA en vertederos:
  - Exposición al aireto air
  - Exposición al agua
  - Retención de calor
  - Relleno de gran espesor
  - Grandes cantidades de bandas de acero expuestas
  - TDA de pequeño tamaño y grandes cantidades de partículas de caucho granuladas
  - Presencia de nutrientes orgánicos e inorgánicos

Aspectos de Ingeniería de TDA en Comparación con los Agregados

Combustibilidad

- ASTM recomienda que los TDA no se usen en capas superiores a 10 pies de espesor.

Aspectos de Ingeniería de TDA en Comparación con los Agregados

Problemas de Almacenamiento

- Un impedimento importante para el uso de los TDA en vertederos es la capacidad de almacenamiento de cantidades suficientes para seguir el ritmo de las actividades de construcción del vertedero.
- Los vertederos a menudo necesitan amontonar y almacenar TDA en una zona de almacenamiento temporal, por lo que se deben planificar por anticipado las actividades de despliegue y almacenamiento.

Aspectos de Ingeniería de TDA en Comparación con los Agregados

Problemas de Almacenamiento

- Los TDA usados como sustituto del agregado debe almacenarse en montones cuya
  - Dimensión vertical no exceda los 15 pies.
  - Longitud sea inferior a 100 pies.
  - Anchura sea inferior a 50 pies.
  - Cuyo volumen del montón sea menor a 75.000 ft^3.

Aspectos de Ingeniería de TDA en Comparación con los Agregados

Problemas de Almacenamiento

- Los TDA almacenados en montones también deberían
  - Ubicarse lejos de posibles fuentes de combustión
  - Ubicarse al menos a 50 pies de materiales combustibles
  - Tener una área reservada de 50 pies entre los montones
  - Disponer de un extinguidor de incendios de tipo químico seco de clase ABC y 20 libras en un radio de 100 pies del área de almacenamiento
  - Tener el sitio organizado para evitar piscinas de agua estancada y limitar el escurrimiento de agua de lluvia.

Aspectos de Ingeniería de TDA en Comparación con los Agregados

Problemas de Almacenamiento

- Otros problemas de almacenamiento de TDA
  - Uso de sondas de temperatura para monitorear la temperatura interna
  - Controlar la dispersión de residuos y otros contaminantes causada por el viento
  - Contar con un camión aljibe para enfriar los montones, si fuera necesario
  - Tener cuidado al mover los TDA para evitar la contaminación en los suelos subyacentes.

Inquietudes sobre calidad del agua con los TDA

- Las Características de Toxicidad del Procedimiento de Lixiviado (TCL, por sus siglas en inglés) usado por ASTM mostró que los TDA estaban por debajo de metales y restos orgánicos regulados.
- Por tanto, los TDA no están clasificados como un residuo peligroso a nivel federal.

Inquietudes sobre calidad del agua con los TDA

- Los estudios han demostrado que puede producir un Lixiviado un rastro metálico de bajo PH desde los TDA.
- Aceites hidrocarburos de alto pH pueden producir Lixiviado de los TDA.

Inquietudes sobre calidad del agua con los TDA

- El pH del Lixiviado del vertedero puede ser acido en los vertederos nuevos, y se ha informado que varía desde 4,5 hasta 7,5.
- Por tanto, es posible que algunos metales puedan ser Lixiviados desde los TDA usado en sistemas de recolección de lixiviado.

Inquietudes sobre calidad del agua con los TDA

- El gas de vertedero es corrosivo, y también es posible que los metales puedan producir Lixiviado de los TDA cuando se usan en sistemas de drenaje de gas.

Uso de TDA como cubierta diaria alternativa (ADC)

- La cubierta diaria se define como el material de cubierta que se coloca durante toda la superficie del lado activo al final de cada día de trabajo.
- Su propósito es controlar:
  - Vectores
  - Incendios
  - Olores
  - Desperdicios esparcidos por el viento
  - Barrido

Uso de TDA como cubierta diaria alternativa (ADC)

- Los materiales ADC usados normalmente en los vertederos incluyen:
  - Lonas (telas geosintéticas)
  - Desperdicio verde
  - Abono vegetal
  - Aguas residuales o biosólidos
  - Materiales de construcción y demolición
  - Espumas

Uso de TDA como Cubierta Diaria Alternativa (ADC)

- Desde la perspectiva del funcionamiento del vertedero, el propósito del uso de ADC en vez de tierra es:
  - Ahorrar espacio aéreo (volumen)
  - Minimizar el uso de maquinaria pesada mediante la reducción del volumen de tierra necesario para las operaciones

Uso de TDA como Cubierta Diaria Alternativa (ADC)

Los TDA tienen el siguiente impedimento que limita su uso como ADC.

- Las emisiones de ciclo vital para la producción y aplicación de ADC son mayores que la tierra, especialmente si la tierra se excava sobre el terreno, lo más normal en el caso de vertederos.

Uso de TDA como Cubierta Diaria Alternativa (ADC)

La evolución del ciclo vital de emisiones producidas por el uso de TDA como ADC.

- En los vertederos, la cubierta diaria se suele excavar sobre el terreno con una excavadora, lo cual es la forma más eficiente de excavación, como lo ilustran las siguientes fotos.

- Producción sobre el terreno de Cubierta Diaria con Excavadora y Camiones de Volcado

Uso de TDA como Cubierta Diaria Alternativa (ADC)

La evolución del ciclo vital de emisiones producidas por el uso de TDA como ADC.

- Las emisiones de ciclo vital de la excavación y transporte de la cubierta pueden calcularse de la siguiente forma:

Uso de TDA como Cubierta Diaria Alternativa (ADC)

A. Consumo de Energía de la Excavación de Cubierta Convencional

Caterpillar 345 Serie Excavator II, 321 hp, cubeta de 2.0 yd^3.
Consumo de combustible = 11,0 galones/hora @ carga media
Tiempo de ciclo = 20 segundos
Producción = 360 yd^3/hora
Densidad del suelo = 2.500 libras/$yarda^3$ (suelto)
Producción = (360 yd^3/hora).(2.500 libras/$yarda^3$). $\left(\frac{1\text{ ton}}{2.000\text{ libras}}\right)$ = 450 ton/hora

Valor Btu del Diesel Consumido = $\frac{(11{,}0\text{ galones/hora})(129.500\text{ Btu/galones})}{450\text{ ton/hora}}$ = 3.165 Btu/ton

Consumo de Energía de la Excavación de Cubierta de Tierra = $\frac{3.165\text{ Btu/ton})}{10^6}$
= 0,00316 millones de Btu/ton

Emisiones de energía =
(0,00316 millones Btu/ton) (0,01987 MTCE/millones Btu) = 0,000063 MCTE/ton

Uso de TDA como Cubierta Diaria Alternativa (ADC)

La evolución del ciclo vital de emisiones producidas por el uso de TDA como ADC.

- Los datos de emisiones para el procesado y transporte se muestran en las siguientes tablas y se ilustra en la Figura 4.

Uso de TDA como Cubierta Diaria Alternativa (ADC)

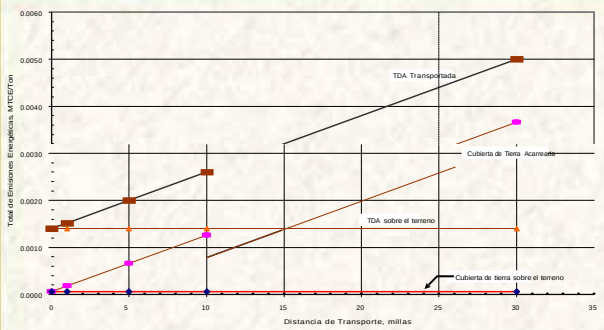
a) Procesado, Energía y emisiones

Material	Consumo de Energía para la Producción de Agregados (millones de BTU/tonelada-milla)	Total de Emisiones Energéticas del Proceso (MTCE/Tonelada)
Suelo Excavado	0.00316	0.000063
Hilos de Neumático	0.0853	0.0014

b) Transporte, Energía y emisiones

Material	Consumo de Energía para el Transporte de Agregados (millones de BTU/tonelada-milla)	Total de Emisiones Energéticas del Transporte MTCE/Tonelada-milla
Suelo Excavado	0.00623	0.00012
Hilos de Neumático	0.00623	0.00012

Figura 4
Total Emisiones Energéticas en Comparación con la Distancia de Transporte para Cubierta de Tierra y TDA (acarreado y producido sobre el terreno)



Uso de TDA como Cubierta diaria Alternativa (ADC)

La evolución del ciclo vital de emisiones producidas por el uso de TDA como ADC.

- La Figura 4 muestra que, en cuanto al peso, incluso si los TDA se producen sobre el terreno, no puede competir con la tierra excavada sobre el terreno o con la tierra acarreada desde una distancia máxima de 10 millas del vertedero.

Uso de TDA como Cubierta diaria Alternativa (ADC)

La evolución del ciclo vital de emisiones producidas por el uso de TDA como ADC.

- Sin embargo, los TDA tienen un peso específico inferior al suelo, por lo que potencialmente un TDA de menor peso podría usarse en aplicaciones ADC.

$\gamma_{soil} = 93\ lb/ft^3$

$\gamma_{TDA} = 25\ lb/ft$

Uso de TDA como Cubierta Diaria Alternativa (ADC)

La evolución del ciclo vital de emisiones producidas por el uso de TDA como ADC.

- Los datos de emisiones para el procesado y transporte se convierten al factor volumen en las siguientes tablas y se ilustra en la Figura 5.

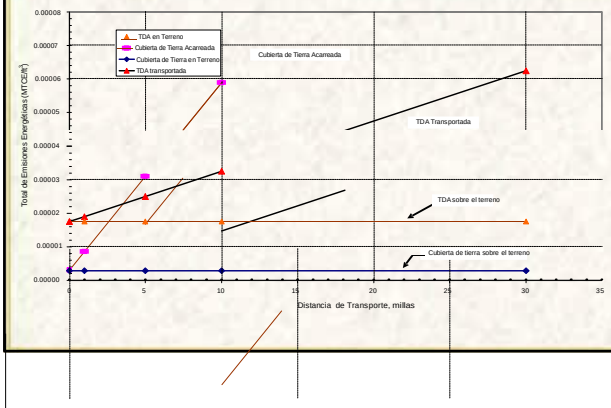
Uso de TDA como alternativa de cubierta diaria (Alternative Daily Cover o ADC en inglés)

c) energía emitida durante el Proceso por ft^3

Material	Consumo de Energía para la Producción de Agregados (millones de BTU/pies³)	Total de Emisiones Energéticas del Proceso (MTCE/ft³)
Suelo Excavado[1]	0.00255	0.0000427
Hilos de Neumático[2]	0.00106	0.0000175

Material	Consumo de Energía para el Transporte de Agregados (millones de BTU/pie³)	Total de Emisiones Energéticas del Transporte (MTCE/pie³ por milla)
Suelo Excavado[1]	0.0003271	0.0000063
Hilos de Neumático[2]	0.0000779	0.0000015

Figura 55
Total de Emisiones Energéticas por Pie Cúbico de Material Comparado con la Distancia del Transporte de la Cubierta de Tierra y TDA (Acarreado y Producido Sobre elTerreno)



Uso de TDA como Cubierta Diaria Alternativa (ADC)

La evolución del ciclo vital de emisiones producidas por el uso de TDA como ADC.

- La Figura 5 muestra que, según el volumen, los TDA producen más emisiones GHG que la tierra para la producción sobre el terreno y nunca puede competir con la cubierta de tierra excavada sobre el terreno.
- Pero los TDA podrían producir menos emisiones GHG que la tierra transportada, especialmente si los TDA se producen sobre el terreno o cerca del vertedero.

Uso de TDA como Cubierta Diaria Alternativa (ADC)

La evolución del ciclo vital de emisiones producidas por el uso de TDA como ADC.

- Estos resultados se explican solamente a las diferencias de peso específico entre la tierra y los TDA.
- Debido a que los TDA son menos denso que la tierra, es probable que tenga que usarse mayor cantidad de TDA en una aplicación determinada.
- Esto limita aún más las posibilidades en el uso de TDA como ADC.

Uso de TDA como Cubierta Diaria Alternativa (ADC)

Además de las emisiones de ciclo vital, las siguientes características también limitan el uso de TDA como ADC:

- No controla la infiltración de aguas de lluvia.
- No previene los riesgos de incendio.
- No controla la migración del gas de vertedero.
- Es más difícil de aplicar y compactar, y requiere más horas operativas de equipo pesado.
- Los hilos de neumático consumen más espacio aéreo que la tierra compactada u otras formas de ADC.

Conclusiones sobre el Uso de TDA en Vertederos

Uso de TDA en Lugar de Agregados Vírgenes

- El uso de TDA en lugar de agregado de piedra o arena en sistemas de drenaje para agua, lixiviado, o gas es factible siempre que la maquinaria trituradora esté situada en el terreno o cerca del vertedero. En caso contrario, las emisiones GHG serán más altas que con el uso de agregados vírgenes.
- En este caso el volumen de TDA usado reemplaza el volumen de agregado que podría usarse y no consume el espacio aéreo del vertedero.

Conclusiones sobre el Uso de TDA en Vertederos

Uso de TDA como ADC

- El uso de TDA como ADC probablemente consumirá más energía y producirá más emisiones GHG que la cubierta de suelo excavada sobre el terreno o acarreadas desde distancias cortas.
- Las características físicas de los TDA evitan que pueda usarse como cubierta diaria (control de infiltración, migración de gas, riesgo de incendio) y también dificultan su extensión y compactación con maquinaria.
- Los TDA utilizados como ADC consumirán más espacio aéreo del vertedero que la cubierta de tierra u otros tipos de ADC, especialmente lonas.

Conclusiones sobre el Uso de TDA en Vertederos

Uso como Cimiento de Canal de Drenaje

GRACIAS
¿PREGUNTAS?
http://www.cp2info.org/center

Material AR

Esquema

- Definiciones
- Aglomerante para caucho asfáltico
- Diseño de aglomerante de asfalto engomado
- Tipos de mezclas
- Precauciones

Definiciones AR

Definición de Asfalto Engomado:
ASTM D8

Una mezcla de cemento asfáltico, caucho de neumático recuperado y algunos aditivitos en la que el componente de caucho supone al menos el 15% del peso de la mezcla total y ha reaccionado en el cemento asfáltico caliente lo suficiente para que las partículas de caucho se hinchen,

Definiciones AR

Especificación Relacionada: ASTM D 6114

Especificación Estándar para Aglomerante Asfáltico Engomado.

Un material de alta viscosidad (normalmente mezclado sobre el terreno) que suele requerir agitación para mantener dispersas las partículas de CRM.

Definiciones

El proceso húmedo puede producir una amplia variedad de aglomerantes modificados con CRM de alta viscosidad (mezcla sobre el terreno) hasta tipos de mezcla sin agitación (mezcla terminal)

- La Viscosidad giratoria es el discriminador de uso apropiado, aunque no se suele medir la viscosidad giratoria al de las mezclas terminales
- Puede mezclarse sobre el terreno o en el terminal

Definiciones

Proceso Húmedo

Método de modificar el cemento asfáltico con CRM de neumáticos de desecho y otros componentes

- Enfoque de uso más amplio (en Arizona, California, Texas, Florida y otros estados)
- Mezclar concienzudamente el CRM y los otros componentes con cemento asfáltico caliente (400-425°F)
- Interactuar a 350-375°F por un periodo de tiempo determinado (normalmente un mínimo de 45-60 minutos)
  - Las partículas de CRM se hinchan e intercambian aceites con el aglomerante asfáltico

Definiciones

Las mezclas Terminales son:

- Poca viscosidad, no requieren agitación
- Contenido ≤ típico 10% de CRM, algunos @ 15%
- Puede incluir polímeros y/u otros modificadores
- El contenido en mezclas calientes es similar al cemento asfáltico limpio

Alta Viscosidad (mezcla sobre el terreno) versus sin Agitación (Mezcla Terminal)

Definiciones

Proceso Seco

El CRM sustituye del 1 al 3% de agregado en la mezcla caliente.

- No considerado para modificar el aglomerante, aunque puede ocurrir alguna interacción con CRM asfáltico con el tiempo
- Las gradaciones de CRM van desde gruesa (1/4") a fina (#80)
- Historia de desempeño de las mezclas: uso actual limitado
  - La necesidad de tomar en cuenta la absorción a largo plazo sin demasiada riqueza inicial puede estar relacionada con el diseño de mezcla
  - No se usa de forma generalizada en California

Aglomerante para Caucho Asfáltico

Componentes:

- Modificador de Caucho Triturado (CRM)
  - ?Caucho de Neumáticos de Desecho
  - Caucho de Desecho con un Alto Contenido de Caucho Natural
- Cemento Asfáltico
- Aceite extendedor: Caltrans

Especificaciones de Caltrans para Aglomerantes de Alta Viscosidad AR (Mezcla Sobre el Terreno)

- Modificador de asfalto: Aceite extendedor de 1 a 6% de masa asfáltica (para aglomerantes de sellado con gravilla, CT puede continuar requiriendo un mínimo de 2,5% de aceite para expansión)
- Asfalto + aceite extendedor: 78-82% por masa total de aglomerante AR
- Total CRM: 18-22% por masa total de aglomerante AR, del cual:
  - CRM de neumático de desecho = 73-77% de CRM total
  - CRM natural alto = 23-27% de CRM total

Modificador de Caucho Triturado (CRM)

- El CRM se produce al rallar completamente los neumáticos de desecho, hilos de pulido y otros productos de caucho usados. El CRM viene en una variedad de gradaciones y denominaciones de tamaño de varios proveedores y/o fuentes
- La gradación CRM y el contenido afecta no solamente a las propiedades del aglomerante AR, si no que también influye en la estructura de vacío de las mezclas de RHMA-G
- Los límites de gradación usados por Caltrans y ADOT son amplios y admiten bastante variación; se está evaluando hacer cambios
- Revisar las estipulaciones especiales del proyecto para verificar los límites de gradación CRM vigentes para proyectos específicos

Modificador de Caucho Triturado (CRM)

Video Clip de Procesamientos de Neumáticos

Video 1

Video 2

Video 3

Modificador de Caucho Triturado (CRM)

- CRM de caucho natural alto se usa para mejorar la adhesión y flexibilidad, contención de sellado de agregado de migas y para compatibilizar el asfalto y las interacciones de CRM
- Tiene un alto contenido de caucho natural (40-48% por masa) y puede hacerse de neumático de desechos o de otras fuentes distintas a los neumáticos
- Caltrans también exige que se use ese "alto contenido natural" en aglomerantes para mezclas RHMA

Cementos Asfálticos

- El cemento asfáltico está disponible en una variedad de grados y denominaciones
- AR-4000 se ha utilizado para hacer asfalto engomado en el pasado
- Caltrans adoptó el sistema de Gradación por Desempeño (PG) en 2006
- No usar asfalto modificado como base de cemento asfáltico para modificación con CRM

Cementos Asfálticos PG

- Para zonas de alta montaña y desierto, usar PG 58-22 como asfalto de base
- Para otras zonas (costera, valles interiores, montañas bajas y al sur, y desierto) se deben usar PG 64-16 como asfalto de base

Aditivos

- Aceites extendedores;
  - ayuda a la interacción del caucho triturado y el asfalto proporcionando aromáticos absorbidos por el caucho,
  - y ayuda a la dispersión mediante la suspensión química del caucho en el asfalto Exigido por Caltrans
- Agentes promotores de adhesión:
  - se usan para mejorar la adhesión del aglomerante al agregado

Interacciones del Asfalto y el Caucho

Depende de:

- Fuente y Gradación del Cemento Asfáltico
- Tipo/Fuente del Caucho
- Cantidad de Caucho
- Gradación de Caucho
- Tiempo de Interacción
- Temperatura de Interacción

Envío de Diseños de Mezcla de Asfalto Engomado

- Proveedor e identificación (o tipo) de neumático de desecho y CRM de alto contenido natural
- La gradación típica para cada tipo de material CRM se usa en el diseño de aglomerante para asfalto engomado
- Porcentaje de neumático de desecho y CRM de alto contenido natural por la masa total de la mezcla de asfalto y caucho
- Si CRM procede de más de un proveedor, se requerirá información de cada proveedor CRM
- Los resultados de las pruebas de laboratorio para los parámetros de prueba se muestran en el apartado de estipulaciones especiales

Envío de Diseños de Mezcla de Asfalto Engomado

- El grado, proveedor y Certificado de Cumplimiento del aglomerante PG con base asfáltica
- Porcentaje de la mezcla combinada de asfalto y modificador asfáltico por la masa total de aglomerante asfalto engomado
- Tipo, proveedor, identificación y resultados de pruebas del modificador de asfalto que demuestren el cumplimiento de las especificaciones
- Porcentaje de modificador asfáltico por masa asfáltica
- Perfil de diseño
- Interacción mínima de tiempo y temperatura
- Hojas de Seguridad de los Materiales para Todo

Perfil de Diseño para Mezcla Asfáltica Engomado

- Se ha desarrollado un perfil de diseño para
  - Evaluar la compatibilidad entre materiales
  - Comprobar el cumplimiento de las propiedades de interacción del componente
  - Revisar la estabilidad de la mezcla AR en el tiempo
- Para mezclas calientes y las aplicaciones de aerosol, se requiere un perfil de diseño de 24 horas

Perfil de Diseño para Mezcla de Asfalto Engomado

	Minutos de Reacción					Limites de especificaciones @ 45 minutos (Caltrans 12/2005)
PRUEBA	45	90	240	360	1,440	
Viscosidad, cP Haake@ 190°C	2400	2800	2800	2800	2100	1500 - 4000
Resiliencia @ 25°C (% de Rebote) (ASTM D 5329)	27	--	33	--	23	18 Mínimo
Punto de ablandamiento de R y B, °C (ASTM D36)	59.0	59.5	59.5	60.0	58.5	52 – 74 (125-165ºF)
Lápiz de Proyección @ 25ºC (ASTM D217)	39	--	46	--	50	25 – 70

Tipos de RHMA

- Gradación densa (uso limitado por Caltrans)
- Granulometría discontinua
- Granulometría abierta
- Granulometría abierta (Aglomerante Alto, HB)

Comparación de Gradación de Agregados

Granulometría Abierta | Granulometría Discontinua | Granulometría Densa

Mezclas de Granulometría Densa (RHMA-D)

- Uso Temprano
  - Mejoras de desempeño limitadas en comparación con el coste
  - Espacio vacío no adecuado para acomodar suficiente aglomerante AR para modificar el comportamiento
- Se interrumpió el uso con aglomerante de alta viscosidad (mezcla sobre el terreno)
- Adecuado para uso con aglomerantes modificados CRM sin agitación (mezcla terminal), tal como el MB

Mezclas de Granulometría Discontinua (RHMA-G)

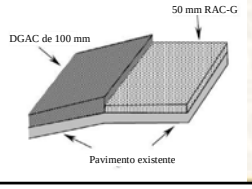
El RHMA-G es el Tipo de mezcla RHMA más usado

Propósito: mezcla Estructural que proporciona mayor resistencia a:

- Surcos
- Fatiga
- Agrietamiento por reflexión
- Envejecimiento por oxidación

Mezclas de Granulometría Discontinua (RHMA-G)

Uso apropiado: Es muy efectivo en levantamientos de superficie relativamente finos (máx. 60 mm) como revestimiento de pavimentos rígidos o flexibles, envejecidos o deteriorados que sean estructuralmente sólidos. Puede usarse como pista superficial para nuevas construcciones. Adecuado para un amplio rango de volúmenes y cargas de tráfico.



Mezclas de Granulometría Discontinua (RHMA-G)

- Diseño de espesor
  - Ver el Módulo 2 para mayor detalle
  - Pavimentos nuevos
  - Revestimientos
- Sistemas de revestimiento: de dos y tres capas
  - SAMI-R, no SAMI-F

Mezclas de Granulometría Discontinua (RHMA-G)

Las estipulaciones especiales estándar para RHMA-G con alta viscosidad (mezcla sobre el terreno), se están actualizando los aglomerantes AR para abordar la implementación de aglomerante PG.

Las revisiones incluyen:

- Eliminar los métodos de prueba del cuerpo SSP, desarrollar procedimientos de laboratorio adecuados para análisis de tamizado CRM y medir la viscosidad rotativa del aglomerante AR
- Formatear SSP para inclusión en la Sección 39 de las Especificaciones Estándar de Caltrans

Mezclas de Granulometría Discontinua (RHMA-G)

- Ajustes Realizados al Método de Diseño de Mezcla Hveem (CT 367), incluyendo:
  - Modificar los requisitos de gradación de agregados (en bruto), especialmente para **tamizado de 600 µm, para facilitar lograr** el VMA mínimo (18%)
  - Añadir máximo límite de VMA del 23%
  - Probar 3 ladrillos de aglomerado de carbón en cada contenido de aglomerante, usar valores medias para cálculo y esquemas

Mezclas de Granulometría Discontinua (RHMA-G)

- Ajustes a Método de Diseño de Mezcla Hveem, continuación
  - El diseño de contenido de vacíos de aire puede variar entre el 3% y el 5% según el índice de tráfico y el clima, y de acuerdo a lo definido por el Ingeniero en las estipulaciones especiales del proyecto
  - De todas formas es necesario un contenido mínimo de aglomerante AR del 0,7% por peso de agregado seco para proporcionar durabilidad (Debe tener suficiente contenido de aglomerado para entregar los beneficios de desempeño esperados)

Mezclas de Granulometría Discontinua (RHMA-G)

Ajustes a Método de Diseño de Mezcla Hveem, continuación

- Usar los Procedimientos de Laboratorio de Caltrans LP-1 hasta LP-4 para los cálculos volumétricos
- Proporcionar Datos de Vacíos Rellenados con Asfalto (VFA) y Proporción de Polvo solo a título informativo
- Calcular el media de peso por unidad, estabilidad, % de vacíos de aire, VMA y VFA, versus el contenido de aglomerante en el asfalto cauchutado

Mezclas de Gradación Abierta (RHMA-O, RHMA-O-HB)

- Las estipulaciones especiales estándar para RHMA-O y RHMA-OHB también están en proceso de actualización para incorporar la implementación de aglomerantes PG
- Los cambios son similares a los de RHMA-G, pero con menos impacto en el método de diseño de mezcla
- Los efectos de la gradación CRM y el contenido en el aglomerante tienen relativamente poco efecto en la estructura de vacíos de las mezclas de gradación abierta

Mezclas de Granulometría Abierta (RHMA-O)

- Los RHMA-O han sido diseñados para proporcionar una superficies de drenaje libre (menos salpicaduras, rociado e hidrodeslizamiento) que mantiene buenas características de fricción en condiciones secas o húmedas
- Esas mezclas no se consideran elementos estructurales por lo que no se aplica una reducción de espesor
- Los RHMA-O se suelen colocar en levantamientos finos, con un espesor nominal de 24 a 30 mm

Mezclas de Granulometría Abierta (RHMA-O)

Uso apropiado:

La mezcla RHMA-O puede usarse como revestimiento o para superficie en construcciones nuevas donde el flujo de tráfico no es interrumpido por señalización, tales como autopistas y algunas carreteras secundarias y rurales.

Mezclas de Granulometría Abierta (RHMA-O)

- No se recomienda usar mezclas de granulometría abierta donde haya una cantidad de tráfico constante o vehículos que dan la vuelta, tales como carreteras urbanas o en aparcamientos
- Estos pavimentos de módulo poroso bajo son susceptibles a sufrir rasguños de neumáticos por movimientos simultáneos de frenado y girado, y a dañarse por los fluidos que se filtran de los vehículos
- Caltrans no usa RHMA-O en zonas con nieve

Diseño de Mezcla RHMA-O

- El diseño de mezcla RHMA-O se realiza en conformidad con la prueba 368 de California, con contenido de aglomerante para asfalto engomado fijado a 1,2 veces el contenido de alquitrán optimo para el grado de aglomerante PG designado
- Se usa una prueba de comprobación para verificar que el drenaje descendente del aglomerante no sea excesivo
- Si se anticipan desplazamientos largos, se debe comprobar el drenaje descendente en el laboratorio para conocer el tiempo de desplazamiento esperable

Mezclas de Granulometría Abierta (RHMA-O-HB)

- Las mezclas de RHMA-O-HB tienen mayor contenido de aglomerante (1,6 veces la necesaria para el asfalto PG en vez de 1,2)
- El aglomerante HB ofrece pista de fricción mejorada, durabilidad y desempeño debido a las películas de aglomerante AR más espesas
- La comprobación de drenaje descendente es incluso más importante en mezclas con más aglomerante
- RHMA-O-HB no drena tan libremente como RHMA-O debido a su mayor contenido de aglomerante, pero todavía posee más drenaje libre que DGAC

Mezclas de Granulometría Abierta

- RHMA-O y RHMA-O-HB ofrecen beneficios de seguridad, y han demostrado:
  - Permitir desplazamientos más suaves
  - Reducir significativamente el ruido de neumáticos
- Se están realizando estudios conjuntos de Caltrans/ADOT/FHWA para medir y documentar la reducción de ruido en un periodo de 10 años

Precauciones

- Las especificaciones y métodos de diseño de mezclas discutidos en esta presentación se aplican al uso de aglomerante de alta viscosidad para asfalto engomado (mezcla sobre el terreno) en mezclas de granulometría discontinua y abierta RHMA
- Nunca se debe sustituir directamente aglomerantes que no requieren agitación (baja viscosidad, mezcla terminal) por aglomerantes de alta viscosidad en ninguna mezcla RHMA
- Los dos tipos distintos de aglomerantes modificados CRM tienen rangos de viscosidad muy distintos y se comportan de forma diferente en las mezclas calientes de hormigón asfáltico

Resumen

- Definiciones del Material
- Perfiles de Diseño de Mezcla
- Prueba del Material
- RHMA-D
- RHMA-G
- Aplicaciones de RHMA-O y RHMA-G

¿PREGUNTAS?
El Principio
Mantener los caminos en buen estado con materiales asfáltico para pavimentación
http://www.cp2info.org/center

Anexo C

Programa Universitario Disertaciones por Capítulo

Módulo 1 CIVIL 131 Introducción al Diseño de Ingeniería Civil

Módulo 2 CIVIL 311 Resistencia de los Materiales

Módulo 3 CIVIL 312 Pruebas Estructurales de Laboratorio

Módulo 4-1 CIVIL 402 Contratos y Especificaciones Sobre Hormigón Asfáltico Engomado

Módulo 4-2 CIVIL 402 Contratos y Especificaciones de Normas ASTM

Módulo 5 CIVIL 411 Mecánica del Suelo

Módulo 6 CIVIL 415 Hormigón Reforzado Módulo

7 CIVIL 402 Ingeniería Medioambiental Módulo 8

CIVIL 441 Ingeniería de Transportes Módulo 9

CIVIL 551 Ingeniería de Cimientos Módulo 10

CIVIL 575 Gestión de Residuos Sólidos

Módulo 11 CIVIL 598 Materiales para Pavimentación con Asfalto

EXENCIÓN DE RESPONSABILIDAD

Los contenidos de estos capítulos son provisionales. Han sido elaborados solamente a título informativo. El propósito de estos capítulos es servir de complemento a los módulos didácticos del Anexo B. Se ruega no citar ni hacer referencia a este material en otras publicaciones. Estos documentos expresan solamente las opiniones de sus autores. El contenido no refleja necesariamente la visión o política oficial del California Integrated Waste Management Board (CIWMB) o la del Estado de California.

1.0 Introducción

Según los datos de la asociación de fabricantes de caucho (Rubber Manufacturers Association), en 2005 se generaron aproximadamente 300 millones de neumáticos de desecho en los Estados Unidos. Históricamente, estos neumáticos usados ocupaban espacio en vertederos u ofrecían el caldo de cultivo ideal para mosquitos y roedores cuando se los abandona o amontona ilegalmente. Afortunadamente ahora existe mercado para el 87% de estos neumáticos de desecho, en comparación con el 17% en el año 1990. Estos mercados - tanto de reciclaje como de uso beneficioso – siguen creciendo, y la California Integrated Waste Management Board (CIWMB) cree que el marcado más grande de todos para los productos de neumáticos de desecho son las aplicaciones en ingeniería civil. Sin embargo, el resto de los neumáticos desechados siguen siendo apilados en montones o en vertederos.

A nivel nacional, de los 300 millones de neumáticos de desecho producidos, la mayoría se utilizó como sigue:

- 155 millones (52%) se usaron como combustible (TDF).
- 49 millones (16%) fueron reciclados o utilizados en proyectos de ingeniería civil.
- 30 millones (10%) se convirtieron en caucho triturado y se reciclaron en productos.
- 7,4 millones (2,5%) se convirtieron en caucho triturado y se usaron en asfalto engomado.
- 6,9 millones (2,3%) se exportaron.
- 6,1 millones (2.0%) se reciclaron en productos cortados/estampados/sellados.
- 3 millones (1%) se destinaron a la agricultura y otros usos misceláneos.

Como puede verse, los mercados más grandes para neumáticos de desecho, que ocupan alrededor del 78%, son:

- Combustible derivado de neumáticos
- Aplicaciones en ingeniería civil
- Aplicaciones de caucho triturado/hormigón asfáltico engomado

Tanto el uso de reciclaje como el uso beneficioso de los restos de neumáticos se han expandido mucho en la última década debido al creciente énfasis en el reciclado y uso beneficioso por parte de autoridades estatales, locales y federales, la industria, y otras asociaciones. Desgraciadamente, incluso con los importantes niveles de utilización y esfuerzos de reciclaje en marcha, no todos los restos de neumáticos se usan de forma beneficiosa.

California es el estado que más contribuye en ese sentido, produciendo unos 40 millones de esos neumáticos. Se estima que de media cada residente de California produce 1,1 neumáticos al año. El consejo estatal de gestión de residuos California Integrated Waste Management Board (CIWMB) tiene la tarea de desviar esos neumáticos de desecho desde el flujo de residuos para su uso en otras aplicaciones beneficiosas. Las aplicaciones de ingeniería civil son el mercado potencial de mayor crecimiento para los neumáticos de desecho.

1.1 Objetivos

Este capítulo se centra en los materiales que se desarrollaron para presentar a los estudiantes de ingeniería de primer año las posibles aplicaciones de los neumáticos de desecho en proyectos de ingeniería civil. Fue elaborado para un curso que se ofrece en la mayoría de los institutos técnicos y universidades con programas de ingeniería; normalmente el curso recibe el nombre de "Introducción a la ingeniería".

1.2 Historia

El consejo CIWMB ha pasado casi dos décadas tratando con problemas de neumáticos de desecho en el Estado de California. No solo se les ha pedido desviar los neumáticos usados del flujo de residuos, también han participado en la reducción del número de neumáticos de desecho que se amontonan, tanto de forma legal como ilegal, y en los esfuerzos de rehabilitación después de incendios de neumáticos de devastadoras consecuencias. El programa de gestión de reciclaje de neumáticos de desecho de CIWMB ha aumentado su tasa de desvío de neumáticos de desecho desde el 34 por ciento en 1990 hasta el 75 por ciento en 2008 (CIWMB 2008). Además, el programa ha limpiado la mayoría de los grandes montones de neumáticos en el estado.

Los neumáticos de desecho abandonados suponen posibles amenazas a la salud y seguridad pública, y para el medio ambiente. Este es particularmente cierto con respecto al riesgo de incendios y a las enfermedades transmitidas por mosquitos, como el Virus del Nilo Occidental. El CIWMB también ha completado programas de remediación en los incendios de neumáticos más grandes de California, y ha trabajado expandiendo mercados para los productos derivados de neumáticos.

1.3 Aplicaciones en Ingeniería Civil de los Neumáticos de Desecho

Este módulo ofrece una introducción general a los problemas relativos a la generación de neumáticos de desecho en California y da un panorama de sus aplicaciones en proyectos de ingeniería civil. También se abordan los beneficios y problemas enfrentados en el uso de neumáticos de desecho como agregado derivado de neumáticos (Tire Derived Aggregate o TDA) y materiales para pavimentación de asfalto engomado.

Los neumáticos son un producto artificial con una composición compleja. Contienen bandas y cuentas de acero, bandas de poliéster y caucho sintético y natural. Son diseñados para ser resistentes y durables por lo que no son fáciles de reciclar. Los proyectos de ingeniería civil pueden usar neumáticos de desecho en una variedad de formas, desde partículas de caucho triturado e hilos de neumático hasta neumáticos enteros.

El uso de los productos de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil puede clasificarse en tres categorías principales; agregado derivado de neumático, materiales de

pavimentación de hormigón asfáltico engomado (RAC) y el uso de neumáticos de desecho enteros. Los TDA tienen muchas propiedades beneficiosas para algunas aplicaciones de ingeniería civil:

1. De peso ligero, los hilos de neumático pesan 1/3 a ½ menos que la tierra y gravilla compactada.
2. La presión lateral del terreno es menor, alrededor de ½ o menos del material de relleno tradicional.
3. Buenas características de aislamiento térmico, 8 veces mayor que la gravilla.
4. Alta permeabilidad, mayor que la de los suelos granulados (arenas).
5. Comprimibilidad, útil para mitigar la vibración.

El RAC también posee muchas propiedades deseables, entre ellas:

1. Mejora de tracción, comparado con la pavimentación con asfalto tradicional.
2. Mejora la durabilidad de secciones de pavimento, especialmente en revestimientos. Normalmente permite usar revestimientos más finos y obtener un desempeño superior. Reduce el agrietamiento por reflexión y tensión superficial.
3. Reduce el ruido causado por el tráfico de vehículos (contaminación sonora). Escuchen el video incluido en la presentación Power Point.
4. Reduce la vibración que se siente en los vehículos.
5. Reduce los costes de mantenimiento gracias a la vida de servicio más larga propia del RAC.
6. Reduce el rociado/la salpicadura de la lluvia. El video en la presentación Power Point muestra dramáticamente este efecto.

Los materiales de pavimentación RAC pueden mejorar el desempeño del sistema de pavimentación al tiempo que reduce los requisitos de material debido al menor espesor del revestimiento del pavimento. Los sistemas de pavimentación RAC han demostrado tener menores costes de ciclo vital.

Hay varias aplicaciones beneficiosas de los TDA en proyectos de ingeniería civil. Los TDA pueden usarse en varios tipos de aplicaciones de ingeniería civil:

1. Relleno ligero para cementaciones
2. Relleno para muro de contención
3. Capa antivibración bajo las líneas férreas
4. Capa aislante para limitar la penetración de escarcha en carreteras
5. Aplicaciones de vertedero, tales como cubierta diaria, protección de tubería de gas, capas de drenaje y sistemas de recolección y recuperación de lixiviado y gas.

6. Resolver problemas de estabilidad de pendientes mediante el reemplazo de suelos más pesados, lo que reduce la fuerza impulsora de los fallos de estabilidad de las pendientes.

Usar productos de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil, lo que aprovecha las características deseables de estos productos al tiempo que ayuda a resolver los problemas medioambientales producidos por eliminación incorrecta. Las aplicaciones de ingeniería civil tienen el potencial de usar grandes cantidades de productos de neumáticos de desecho. Por ejemplo, se reciclan unos 75 neumáticos por cada yarda cúbica de relleno con TDA, y se usan 2000 neumáticos por milla de pista de pavimento RAC. El CIWMB cree que las aplicaciones de ingeniería civil representan el mayor potencial de crecimiento para el uso de neumáticos de desecho en California.

Existen diversos obstáculos para la generalización del uso de neumáticos de desecho en las aplicaciones de ingeniería civil. Estos obstáculos tienen aspectos de ingeniería así como medioambientales, reglamentarios, de percepción ciudadana y problemas de construcción. Los ingenieros civiles suelen evitar el riesgo y están acostumbrados a diseñar con materiales de construcción convencionales (suelos, hormigón, asfalto, madera y acero) que tienen estándares y códigos aplicables de aceptación. Las propiedades de ingeniería de los TDA no han sido bien establecidas y faltan datos de desempeño a largo plazo y estándares o manuales de diseño. Además, la composición química de los productos de neumáticos de desecho es compleja ya que los neumáticos han sido diseñados para ser resistentes, durables y seguros para el consumidor. Se desconocen los efectos medioambientales a largo plazo y los ingenieros deben vencer la percepción pública de que si son materiales de desecho son necesariamente malos.

Durante el diseño, el ingeniero se ve enfrentado a un convulso proceso regulatorio de aprobación, con objetivos que compiten entre sí (por ejemplo, la EPA y los grupos de control regulatorios de la calidad del agua) Los organismos de regulación medioambiental son adversos al riesgo y necesitan seguridad sobre los impactos del uso de productos reciclados en aplicaciones de ingeniería civil.

También hay varios problemas de construcción a superar. Es posible que se requieran nuevos procedimientos y equipos como ocurre en el caso de los sistemas de pavimentación RAC, lo que requiere procedimientos más controlados de fabricación, transporte y construcción. En el caso de los TDA, suele ser difícil calcular los costes “sobre el terreno” debido a las variaciones de la densidad sobre el terreno lograda y el esfuerzo de compactación necesario. Otro problema es que el suministro no es seguro, tanto en cantidad como calidad, y los TDA resultante varia según el fabricante. Algunas veces el uso de neumáticos de desecho puede ser más caro que la construcción con materiales convencionales. Finalmente, al igual que los ingenieros, los contratistas suelen evitar el riesgo.

Sin embargo, muchos de los obstáculos pueden superarse usando las siguientes estrategias:

- Realizando estudios de laboratorio para determinar las propiedades de ingeniería, y los impactos medioambientales.

- Llevar a cabo proyectos piloto de construcción (a escala completa o casi completa) usando productos de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil.
- Supervisión de la ingeniería y desempeño ambiental a largo plazo de dichos proyectos.
- Modificar las especificaciones, y desarrollar estándares regionales y/o nacionales, etc. según se requiera para generalizar el uso de productos reciclados en aplicaciones de ingeniería civil.
- Educar a los profesionales abordando los problemas directamente y destacando los beneficios de utilizar estos materiales.

2.0 Estudios de Caso

2.1 Quemas de neumático

Recientemente han ocurrido dos incendios de neumático grandes en California, uno en Tracey y otro en Westley:

- Tracy - el 7 de agosto de 1998 un gran incendio quemó aproximadamente 7 millones de neumáticos en la instalación no autorizada de desecho de neumáticos Royster S.F. situada en Tracy, California. El incendio se pudo extinguir con agua y espuma en diciembre del 2000, después de arder durante 26 meses. Recientemente se limpió el sitio a un coste de 40 millones durante los últimos 10 años.
- Westley - el 22 de septiembre de 1999 un rayo prendió fuego a neumáticos amontonados que ardieron hasta que se extinguió el fuego el 26 de octubre de 1999. Se quemaron aproximadamente 2 a 3 millones de neumáticos y 20 millones costó su limpieza.

Los incendios de neumáticos producen nubes de humo negro dañino, carbón negro, orgánicos volátiles, semi-volátiles, hidrocarburos aromáticos polinucleares, petróleo, oxido sulfúrico, nitrógeno y partículas aéreas como arsénico, cadmio, cromo, plomo, zinc y hierro que causan problemas medioambientales serios al aire, agua y suelo. Rociar con agua las quemas de neumático suele aumentar la producción de aceite pirolítico, ofrece un método de expandir los aceites fuera del lugar del incendio y agrava la contaminación de suelos y cuerpos de agua.

La forma de un neumático permite la entrada y acumulación fácil de agua de lluvia. Esto crea un hábitat de cultivo ideal para mosquitos y otras pestes. Los neumáticos son voluminosos y no biodegradables, además tampoco parecen respetar el medio ambiente cuando se almacenan en montones al exterior.

2.2 Vía de Acceso a la Rampa sur 880 de Dixon

CIWMB trabajo con Caltrans para usar neumáticos despedazados (TDA) como relleno ligero en el proyecto del intercambiador Dixon Landing/I-880 en el condado de Santa Clara. El relleno ligero se identificó como la opción más barata para esta rampa porque se iba a construir en una plataforma con fango, que era demasiado débil para soportar el peso de los materiales tradicionales de relleno. Asimismo, la estabilidad y asentamiento de la pendiente es una

preocupación importante cuando se construyen cementaciones en suelos débiles. Se escogió a los TDA porque pesan entre un tercio a la mitad del material de relleno tradicional, y tenía un coste con entrega mucho menor que los otros materiales de relleno ligero. Las intersecciones del relleno, tanto perpendicular como paralelos a la dirección del tráfico vehicular se muestran abajo:

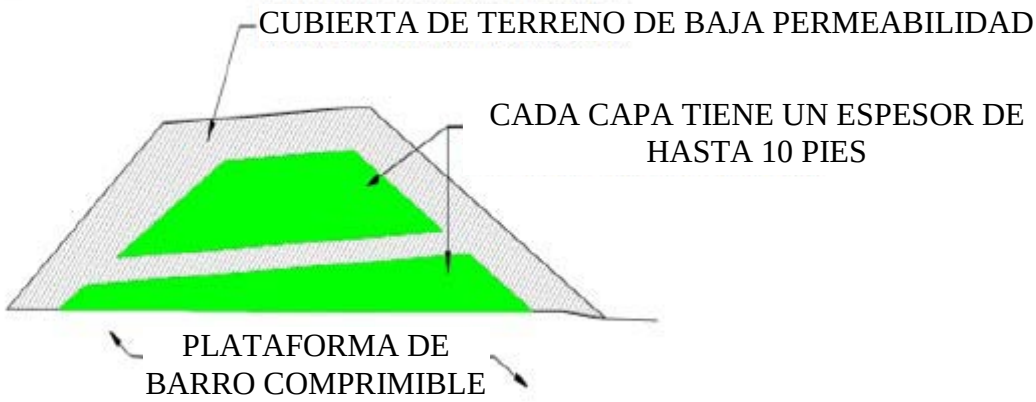


Figura 1. Vista Transversal del Proyecto de Relleno de Cementaciones de Dixon Landing con dos Capas de TDA

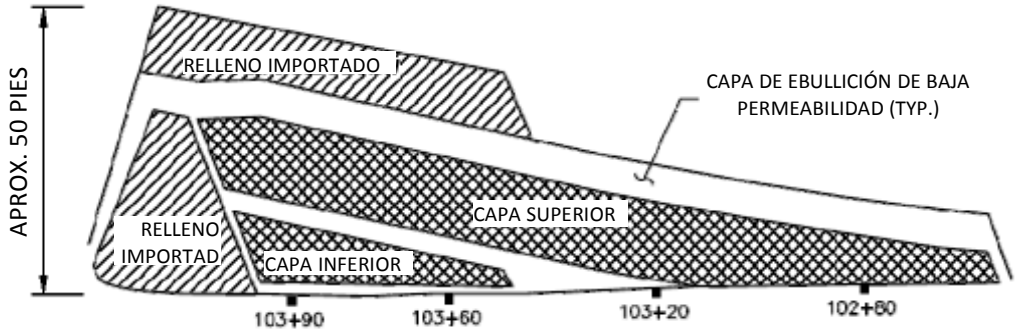


Figura 2. Perfil del Proyecto de CEMENTACIÓN con TDA de Dixon Landing

Los hilos de neumático se colocaron en dos capas, de hasta 10 pies de espesor, y se envolvieron en un material geotextil separado por una capa de suelo de baja permeabilidad de tres pies de espesor. La altura máxima de 10 pies del relleno de TDA sirvió para minimizar el calentamiento interno que había causado la combustión espontánea en anteriores proyectos con una mayor profundidad de rellenos construidos en la década de los 90.

Otro de esos incendios implicó un relleno de neumático TDA en Falls Springs Road en el Condado Garfield (estado de Washington) en octubre de 1996. Los ingenieros decidieron rellenar un barranco abruto con hilos de neumático en vez de construir un puente muy costoso.

Unos meses después de finalizado el proyecto, el relleno empezó a arder, produciendo llamaradas que salían a través de las grietas de la superficie de la carretera y aceite que se filtraba hacia el fondo del barranco. Se requirió maquinaria pesada y equipos de bomberos para excavar el relleno a profundidad total. Cuando los hilos de neumáticos ardientes se expusieron al oxigeno debido a la excavación, saltaron llamaradas que engulleron al equipo de construcción. Costó un millón de dólares construir el relleno y alrededor de tres retirar los hilos de neumático y limpiar el terreno.

De acuerdo a la norma ASTM D6270, el calentamiento de la cementación puede prevenirse usando TDA que no esté contaminado con gasolina, aceite, grasa, etc., limitando los TDA de tamaño fino, limitando el espesor de la capa de TDA a un máximo de 3 metros (10 pies) y minimizando el contacto del relleno con el aire y agua.

En los proyectos de construcción con TDA es importante destacar que, aparte de las unidades de transporte utilizado para entregar los TDA que se muestran en la Figura 3, no se requiere equipo especial de construcción para extender y compactar los rellenos de TDA. Los TDA tienen una densidad mucho menor que los materiales de relleno tradicionales. Esto significa que los camiones de transporte estarán limitados por el volumen, no por el peso. Esto reduce el número total de camiones necesarios para completar un proyecto de relleno, lo que puede ser un tema importante en zonas donde la congestión del tráfico o el acceso limitado al sitio es un tema a considerar.

Figura 3 Descarga de TDA Desde un Camión de Larga Distancia

El material puede extenderse con excavadoras y compactarse con apisonadoras estándar (de 10 toneladas) según se muestra en las Figuras 4 y 5. La norma ASTM D6270 especifica que los TDA se coloquen en un levantamiento de un pie a compactarse pasando sobre cada punto del relleno un mínimo de seis veces por levantamiento. Es necesario destacar que los métodos

tradicionales para determinar la densidad sobre el terreno, como el cono de arena o las sondas nucleares, no funcionan con los TDA. La medición aproximada de la densidad sobre el terreno puede obtenerse estudiando el volumen del relleno y conociendo el peso total de los TDA aplicados.

Figura 4. Uso de Excavadora para Expandir los TDA

Figura 5. Se Usó una Apisonadora de Acero para Compactar los TDA

Los costes unitarios para el proyecto de vía de acceso en Dixon fueron los siguientes:

Costes de instalación de TDA (incluyendo geotextil)	= $3,74/yd3
Gastos de adquisición y transporte de TDA	= $23,66/yd3
Coste sobre el terreno de TDA	= $27/yd3
Coste sobre el terreno de agregado ligero	= $50/yd3

Debe señalarse que el agregado de peso ligero se uso para el relleno contra el contrafuerte ya que no hay datos disponibles sobre la respuesta sísmica de los TDA para esa aplicación. El ahorro en costes para Caltrans por usar los TDA proporcionado de forma gratuita por CIWMB fue de $477.000. El ahorro en costes para el Estado menos el precio de compra de los TDA fue de $230.00 dólares. Esta es la cantidad que ahorraron los contribuyentes por el uso de los TDA. Este proyecto se terminó en agosto de 2001, se ha monitoreado desde el principio, y hasta la fecha no se han presentado problemas de desempeño. La Figura 6 muestra el proyecto de cementación completo usando TDA.

Figura 6. Proyecto Terminado de Relleno para CEMENTACIÓN con TDA Ligeros en la vía de Acceso de Dixon

3.0 Guía Curricular de la Formación Sobre Neumáticos de Desecho en Ingeniería Civil

Este módulo también incluye una introducción al uso de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil. El siguiente gráfico muestra un diagrama de cómo se difunde la información sobre el uso de neumáticos de desecho a través del programa universitario en la CSU, Chico. Hay materiales didácticos del curso disponibles para cada uno de los temas mencionados.

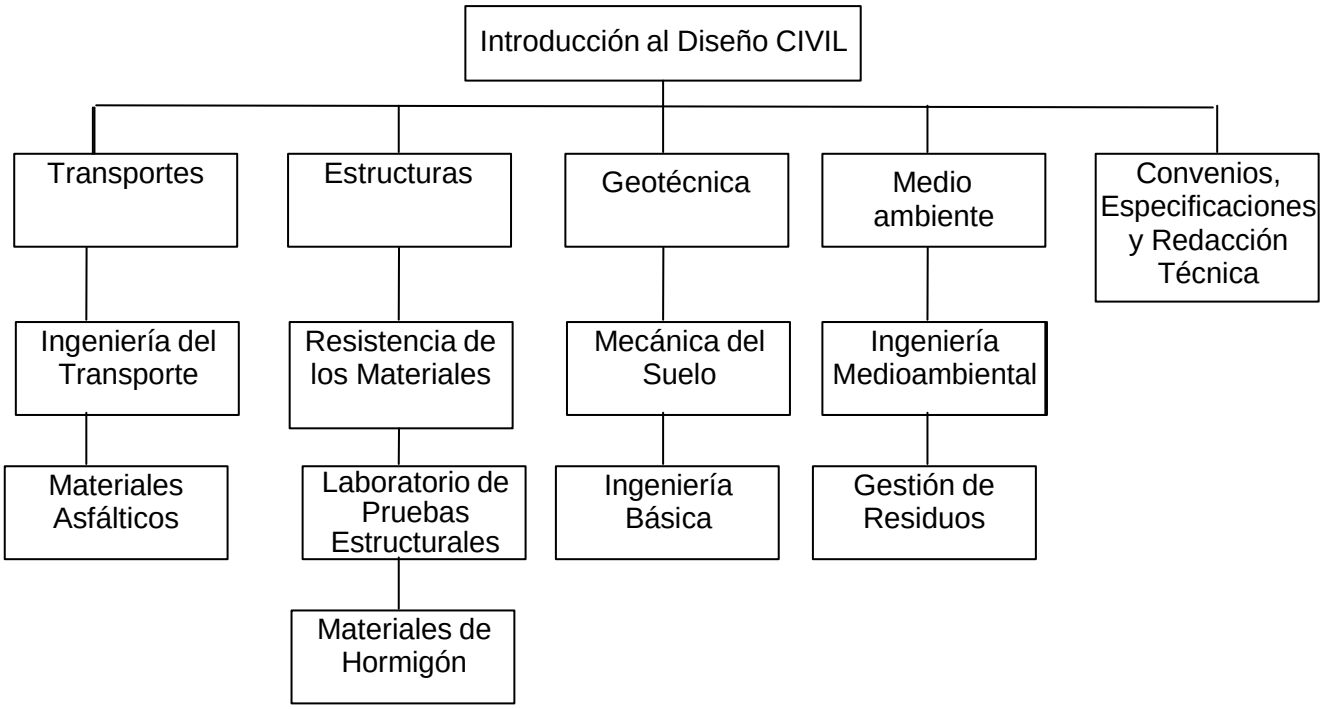


Figura 7. Guía para la Enseñanza de Aplicaciones de Neumáticos de Desecho en Ingeniería Civil

4.0 Resumen y Recomendaciones

Aunque siguen existiendo obstáculos, las aplicaciones de ingeniería civil son el uso de mayor crecimiento para los neumáticos de desecho en los Estados Unidos. Los TDA tienen muchas propiedades deseables que lo convierten en un material ideal para uso en una gama de aplicaciones de ingeniería civil, al tiempo que se ayuda a desviar los neumáticos de desecho del flujo de residuos. Aunque existen algunas especificaciones y guías disponibles, se requiere más investigación y proyectos pilotos para aumentar la confianza en el uso de este material reciclado. Se requieren estudios a largo plazo para monitorear el desempeño a largo plazo, y determinar los impactos para el medioambiente.

Se requiere más trabajo en términos de hacer llegar este material a manos de los educadores e incorporar los resultados que vayan surgiendo de investigaciones y proyectos pilotos finalizados recientemente.

5.0 Referencias

1. CIWMB, “California Waste Tire Generation, Markets, and Disposal” [Generación, Mercados y Eliminación de Neumáticos de Desecho en California]: Informe del personal, 2006.
2. Dana Humphrey “Civil Engineering Applications using Tire Derived Aggregates”(TDA) [Aplicaciones de Ingeniería Civil con Agregados de Neumáticos] 2003
3. Five-Year Plan for the Waste Tire Recycling Management Program (3rd Edition Covering Fiscal Years 2005/06-2009/10), Report to the Legislature, [Plan Quinquenal para el Programa de Gestión de Reciclaje de Neumáticos de Desecho, Informe para la Legislatura] California Integrated Waste Management Board
4. Scrap Tire Markets in the United States [Mercados de Neumático de Desecho en los Estados Unidos]- Rubber Manufacturers Association, November 2006
5. Special Report: Scrap and Shredded Tire Fires [Informe Especial Sobre Incendios de Neumáticos de Chatarra y Triturados], USFA-TR-093/December 1998

CIVIL 311 Resistencia de los Materiales

1.0 Introducción

Antes de que un ingeniero pueda determinar cómo se comportará un sistema, primero debe comprender cuál es el comportamiento de los materiales que lo componen. Conocer cómo se comportan los materiales ayuda a los ingenieros a escoger los mejores materiales para el diseño de un proyecto específico y, quizá más importante, escoger el diseño de proyecto más adecuado para los materiales disponibles. En los primeros proyectos de ingeniería, los materiales eran limitados, así que los diseñadores tenían que arreglárselas con lo que tenían. Por ejemplo, los romanos usaban arcos para desarrollar fuerzas comprimidas en estructuras de piedra cuyas conexiones tenían un pobre desempeño bajo tensión. A medida que la tecnología ha evolucionado, han aparecido nuevos materiales; sin embargo, el alto coste de algunos de estos materiales los hacen una mala elección para cualquier proyecto en que la efectividad de costes sea un tema importante. Con los progresos del campo de la ingeniería, los ingenieros deben considerar no solo el coste económico de los materiales, si no también el coste para el medio ambiente. El desafío para los ingenieros actualmente es diseñar proyectos de gran calidad que sean eficientes tanto económica como medioambientalmente.

El primer paso para los ingenieros civiles a la hora de diseñar proyectos de alta calidad que sean económica y medioambientalmente eficientes es llegar a comprender los materiales de bajo coste y amigables con el medio ambiente que funcionan bien en aplicaciones de ingeniería civil. Uno de esos materiales es el agregado derivado de neumáticos (TDA) y otros productos similares que pueden derivarse de los neumáticos de automóviles para chatarra, tales como caucho triturado y pulido de neumático. Como seguramente ha podido adivinar, los neumáticos de desecho son extremadamente baratos; de hecho, a mucha gente le pagan por llevárselos, por tanto los únicos costes suelen ser su procesamiento y transporte, que también suelen estar incluidos en el coste de otros materiales. Además de ser baratos, el uso de productos de neumáticos de desecho es amigable para el medioambiente, ya que contribuye a reducir el número creciente de montones de residuos no biodegradables, y los productos de neumáticos de desecho tienen muchas propiedades que son muy útiles en aplicaciones de ingeniería civil.

1.1 Propiedades de Ingeniería

Algunas de las propiedades de ingeniería de TDA (y otros productos derivados de neumáticos como el caucho triturado y los pulidos de neumático) que son importantes para el diseño son: Gradación: el rango y frecuencia relativa de los tamaños de partículas, Gravedad específica: la densidad de las partículas en proporción a la densidad de agua, Capacidad de absorción: la medida de la capacidad de absorber agua de los materiales, Comprimibilidad: La susceptibilidad de que un material cambie de volumen debido a cambios de tensión, Módulo de elasticidad (para materiales linealmente elásticos): área bajo la curva elástica para el (es decir, una medida de la capacidad de absorber y recuperar energía) Módulo de elasticidad (para materiales de cimiento): medida del módulo elástico definido como la amplitud de la tensión dividida por la deformación axial, Asentamiento en función del tiempo de los rellenos TDA: cambio en volumen en relación al tiempo de aplicación consistente de una carga, Resistencia al

corte: resistencia a la tensión de corte, Conductividad hidráulica (permeabilidad): la medida de cuán fácilmente se mueve el agua a través del material, Conductividad térmica: cuán bien se transfiere el calor a través del material.

En este capítulo exploraremos algunas formas generales de examinar propiedades como la comprimibilidad, asentamiento y módulo de elasticidad que nos permitirá comprender mejor alguno de los usos de los TDA, pero específicamente destacaremos como se relacionan con la mitigación de vibración, en que es la reducción de vibración por la disipación de energía. Sin embargo, primero es importante destacar algunas de las principales diferencias entre los TDA y los materiales que se suelen analizar en las clases de mecánica de los materiales.

1.2 Trasfondo de la Mecánica de los Materiales (continuum hacia mecánica discreta)

Es importante entender que la disciplina de mecánica de los materiales puede categorizarse de distintas formas. Una categorización útil es considerarla como un continuum hacia la mecánica discreta. El continuum de mecánica trata con materiales que tienen una distribución uniforme de la materia, no contienen vacíos y son consistentes (lo que significa que todas sus partes están conectadas entre sí y no presentan roturas, grietas o separaciones). La mayoría, si no todo, el trabajo realizado en las típicas clases de mecánica de los materiales suele caer en la categoría de continuum de mecánica. El acero es un ejemplo de material que debería analizarse usando el continuum de mecánica.

La Mecánica discreta es un estudio de como se comportan los materiales discretos. Los materiales discretos (tales como suelos y TDA, por ejemplo) no son continuos, suelen tener vacíos y típicamente presentan consistencia mínima. Se debe tener en cuenta que los TDA son un material discreto y por tanto soporta fuerzas comprensivas pero no de tensión, y a menudo fallos en el corte. La resistencia al corte de los TDA se ve afectada por múltiples factores, incluyendo la orientación, tamaño y forma de los hilos de neumático, cómo están empaquetados, la magnitud de la fuerza comprimida que actual sobre los TDA e incluso la consistencia aparente entre los hilos de neumático.

2.0 Modelos de Materiales

Una de las formas que tienen los ingenieros para trabajar con materiales complejos es hacer modelos menos complejos de esos materiales que se comporten de forma similar al material que le interesa. Es esta sección echaremos un vistazo a unos pocos modelos familiares de material que son fáciles de entender. En la siguiente sección aprenderemos como simular propiedades de materiales más complejos utilizando combinaciones de modelos simples que ya conocemos.

2.1 Modelo Material Elástico Lineal

El modelo de material elástico lineal (Figura 1) se comporta como un resorte ideal o Hookeano (uno con módulo constante de elasticidad). Puede observarse que la tensión y la deformación son siempre proporcionales la una con la otra (la constante de proporcionalidad es el Módulo de elasticidad familiar del material, la pendiente de la curva de tensión de deformación), si sigue la misma ruta para carga y descarga (es decir, exhibe comportamiento elástico) y es el mismo para cada ciclo de carga. La investigación adicional muestra que la integración simple (encontrar el área bajo la línea) nos permite calcular la energía por volumen unitario requerida para una tensión dada. Es importante señalar que la cantidad de energía recuperada cuando el material se

relaja es exactamente la misma que la cantidad de energía necesaria para una deformación dada, por tanto no se disipa energía en el material, solo se guarda y recupera mecánicamente.

$\sigma=\varepsilon E$ $E=\Delta\sigma/\Delta\varepsilon$ $F=\sigma A$ $\Delta L=\varepsilon Lo$ $V=ALo$

La energía almacenada por unidad de volumen$=\int\sigma\delta\varepsilon =$ área bajo la curva de tensión-deformación$=1/2\sigma_{max}\varepsilon$

Total energía guardada $=V*\int\sigma\delta\varepsilon=\int\sigma A*\delta\varepsilon Lo=\int F\delta L$

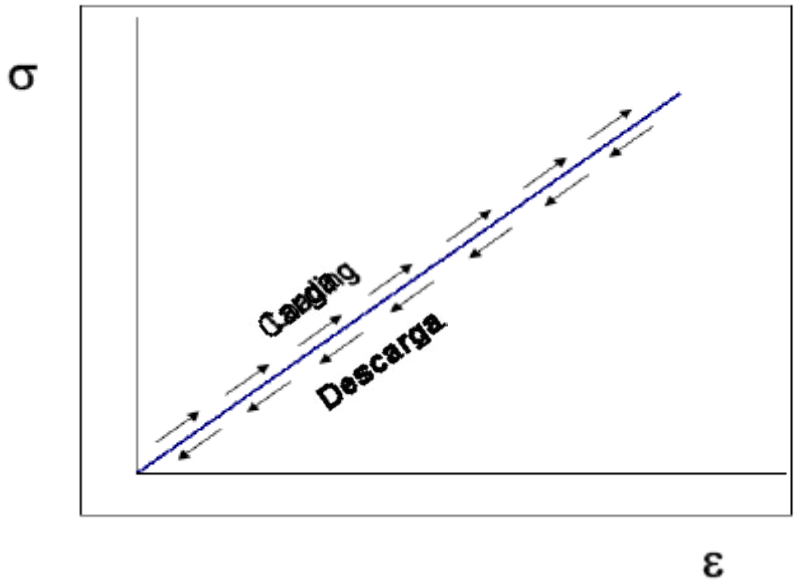


Figura 1. Modelo Elástico Lineal

Es importante recordar a los estudiantes que este comportamiento elástico lineal resulta en dos fenómenos diferentes que facilitan la vida en mecánica de materiales elemental. La primera es que el comportamiento lineal da origen a las ecuaciones lineales que relacionan la carga con la tensión (pensar en tensión de torsión = Mc/I y tensión de corte en torsión = Tc/J) y la carga con la deflexión (pensar en la deflexión de una carga axial = PL/AE, o un ángulo de deformación de un eje en torsión = TL/JG). La segunda cosa importante es que como la curva de carga y descarga coincide y el material vuelve a su forma y tamaño original sin deformar al eliminar la carga, no es necesario tener en cuenta ni registrar la historia de carga.

Otra propiedad elástica importante en el continuum mecánico es la relación entre la deformación longitudinal y transversal para una carga uniaxial. Para la mayoría de materiales estructurales, esta relación se calcula mediante una constante llamada índice de Poisson (ν). Resulta interesante destacar que, teóricamente, el índice de Poisson varia de -1 a 0,5, pero para la mayoría de los materiales usados en ingeniería civil la escala va de 0,3 a 0,5. Un índice de Poisson igual a cero implica que no hay deformación trasversal en ninguna dirección, mientras que un valor de 0,5 representa un material no comprimible o con volumen constante bajo compactación o tensión

uniaxial. Los valores típicos para el índice de Poisson son: casi cero para el corcho, alrededor de 0,1 para el hormigón, 0,27 a 0,3 para el acero, 0,4 para el nylon y ¡de 0,45 a 0,5 para el caucho! Se debería recordar a los estudiantes la relación matemática entre las constante elásticas, E, G y ν es $G = 1/2E/(1 + \nu)$.

2.2 Modelo de Material Elastoplástico

El modelo de material elastoplástico (Figure 2) es una extensión del modelo elástico linear en que se tiene en cuenta la maleabilidad del material. Se asume que en el punto de maleabilidad del material no puede soportar más tensión y continuará estirándose sin un aumento en la tensión. Aquí también se puede usar el área bajo la curva para calcular la energía requerida/liberada en la carga y descarga. Sin embargo, hay que resaltar que toda energía absorbida en el rango plástico (más allá del punto de maleabilidad) no se recuperará con la descarga y por tanto el material lo disipará como calor. Cada vez que el material se deforma plásticamente, la porción plástica de la deformación es permanente (solamente la porción elástica se recupera); por tanto el siguiente ciclo de carga comienza desde una nueva tensión inicial. Este modelo ideal es muy útil para analizar muchos metales, como el acero, porque es muy simple, relativamente exacto y generalmente representa una forma conservadora de modelar su comportamiento.

La energía almacenada por unidad de volumen $=\int\sigma\delta\varepsilon$ = área bajo la curva de tensión-deformación = $1/2\sigma_{max}\varepsilon$ donde ε es menor o igual a ε_y

Porción plástica: $\sigma=\varepsilon_y E=\sigma_y$

La energía disipada por unidad de volumen = $\int\sigma\delta\varepsilon= {}^{\varepsilon}_{\varepsilon_y}$ área bajo la curva de tensión-deformación = $\sigma_{max}(\varepsilon-\varepsilon_y)$

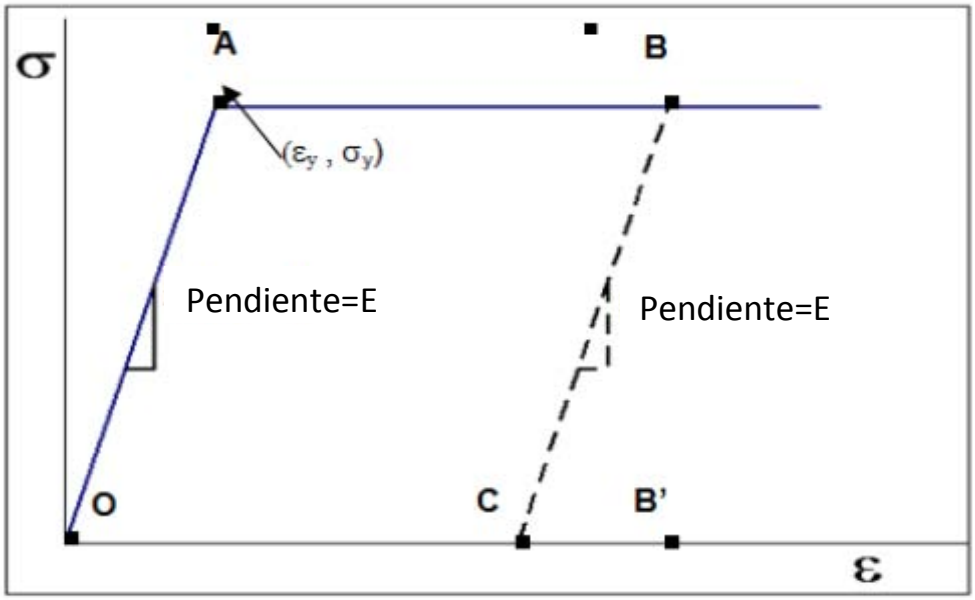


Figura 2. Modelo Elastoplástico

El material se dobla en (A): La línea discontinua representa la ruta de descarga si el material es liberado de la deformación en (B).
El punto (C) representa la deformación permanente si el material es liberado de la carga después de alcanzar la deformación (B).
Si se carga hasta que la tensión y la deformación lleguen al punto (B): Área OVA'= entrada de energía por unidad de volumen, Área CBB'= energía devuelta por unidad de volumen y Área OABC= energía disipada por unidad de volumen.

2.3 Modelo Material Elástico no Lineal

Los modelos elásticos no lineales (Figura 3) describen el comportamiento de materiales Hencky, en los que el incremento de tensión necesario para provocar un determinado aumento de la deformación no es constante (módulo variable de elasticidad, frecuentemente llamado módulo tangente). Sin embargo, es importante destacar que estos materiales cargan y descargan por la misma ruta (de ahí el término "elásticos") y por tanto no disipan energía.

Energía almacenada por unidad de volumen = $\int \sigma \delta \varepsilon$ = área bajo la curva de tensión-deformación.

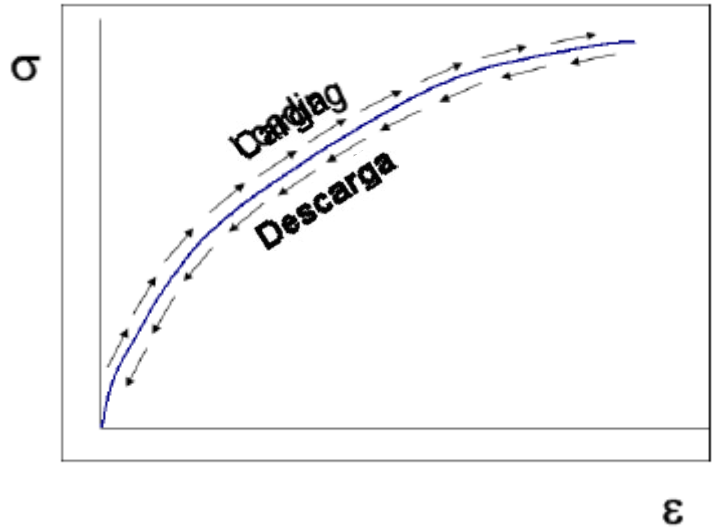


Figura 3. Modelo Elástico Lineal

2.4 Modelo de Material Viscoso

Un material viscoso es aquel en que la tensión determina la tasa de deformación. El modelo utilizado para el material viscoso es el amortiguador, que es un cilindro de aparato con dispositivo con cilindro y pistón hidráulico que también se conoce como humectador. Los materiales viscosos ideales (figura 4), también conocidos como fluidos newtonianos se representan por el amortiguador lineal, que es un tipo de amortiguador cuyo índice de tensión versus deformación, definido como constante de amortiguación, no cambia. Los materiales viscosos no ideales (Figura 5) conocidos como materiales de Stokes, son representados por amortiguadores no lineales, lo que significa que el índice de tensión versus el índice de deformación varia para distintos niveles de tensión. Es importante recordar que, para amortiguadores lineales y no lineales, no se recupera ninguna la deformación, lo que significa que no se recupera la energía mecánica, y por tanto, toda la energía mecánica ejercida en ellos

se disipa (se convierte en energía de calor). También se debe observar que para las siguientes ecuaciones, la energía (fuerza por distancia) es proporcional a la rapidez en que ocurre la deformación, porque la fuerza es proporcional al índice de deformación.

Índice de amortiguación: $\eta=F/(dL/dt)$= relación fuerza/elongación O $\eta=\sigma/(d\varepsilon/dt)$= relación tensión/deformación

Total energía disipada $=\int F\delta L$

Energía almacenada por unidad de volumen $= \int\sigma\delta\varepsilon$

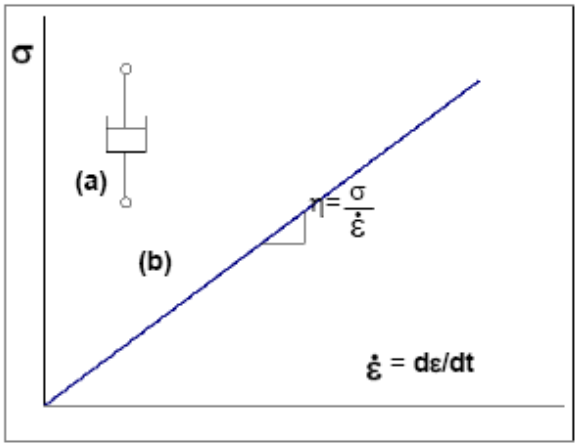


Figura 4. Material Viscoso Ideal (Newtoniano)

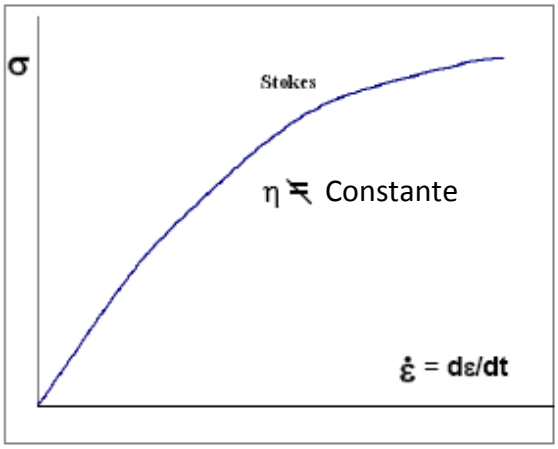


Figura 5. Material Viscoso no Ideal (de Stokes)

(a) ilustración de un amortiguador, (b) representación gráfica del comportamiento viscoso newtoniano

2.5 Modelos de Materiales Más Complejos

La mayoría de los materiales no son totalmente viscosos, ni completamente elásticos. De hecho, muchos materiales pueden clasificarse como anelásticos, lo que significa que cargan y descargan por caminos diferentes y por tanto liberan energía pero vuelven a su forma inicial al descargar, o viscoelásticos, que presentan propiedades viscosas y elásticas y son capaces de disipar energía pero la deformación es permanente. En realidad, casi todos los sólidos son viscoelásticos, pero generalmente sólo los llamamos así si su comportamiento es demasiado viscoso para ser considerados elásticos o vice versa. En la sección siguiente, discutiremos algunos tipos básicos de comportamiento viscoelásticos y cómo se modelan.

2.5.1 El Modelo de Maxwell

La figura 6 ilustra el Modelo de Maxwell de comportamiento viscoelástico. El modelo de Maxwell es simplemente un resorte y un amortiguador en serie. Como el muelle y amortiguador están en serie, siempre tendrán la misma fuerza actuando sobre ellos. Sin embargo, el estiramiento en el resorte depende solamente de la fuerza presente, mientras que la deformación en el amortiguador es el producto de la integral de fuerza y tiempo. Una vez que se ha analizado cada parte del modelo material de forma separada, todas pueden combinarse por superposición

(es decir, sumándolas) o se puede obtener el comportamiento del modelo como conjunto. Debido a que la tensión determina las magnitudes del desplazamiento total del resorte y el índice de desplazamiento del amortiguador, cuando se aplica inicialmente una carga constante ($T=T_o$), el modelo de Maxwell actúa como un muelle, pero durante tiempo restante se comporta como un amortiguador ($T>T_o$) Cada vez que cambia la carga, la parte del resorte responde inmediatamente deformándose en proporción directa a la carga y después se mantiene constante, mientras que el amortiguador simplemente sufre un cambio en el índice de deformación, pero sin recuperar la deformación anterior. Es recomendable fijarse que como el amortiguador está en serie, el modelo no volverá a su posición original en la descarga, y por tanto se disipa energía y no se recupera toda la deformación como se ilustra abajo:

$$\Delta L \text{ (at time T)} = F_T/k + {}^{T}\int_{To} F/\eta \, dt \quad \text{OR} \quad \varepsilon \text{ (at time T)} = \sigma_T/E + {}^{T}\int_{To} \sigma/\eta \, dt$$

Si la fuerza/estrés se mantiene constante: $\Delta L = F/k + (F/\eta)*\Delta t$ OR $\varepsilon = \sigma/E + (\sigma/\eta)*\Delta t$

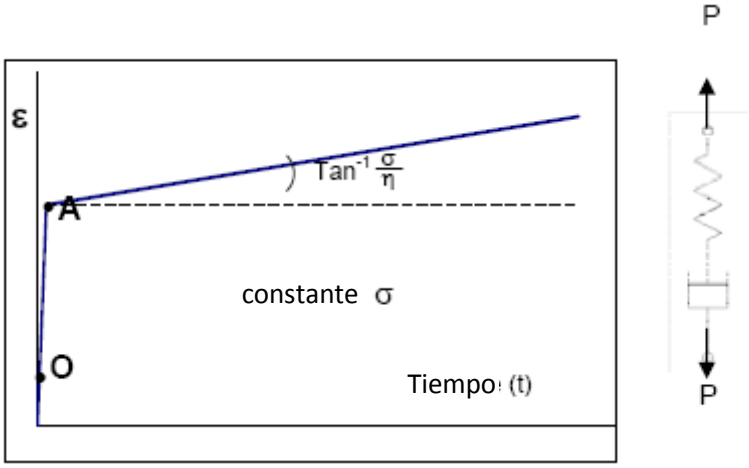


Figura 6. Modelo de Material de Maxwell

El gráfico en la parte izquierda de arriba es el comportamiento del material de Maxwell sujeto a una tensión constante. La línea OA es la deformación elástica instantánea, cuando la línea más allá del Punto (A) representa la deformación viscosa con respecto al tiempo.

La foto superior derecha es una ilustración de un típico modelo de Maxwell con carga aplicada (P).

2.5.2 El Modelo Kelvin

El Modelo Kelvin (figura 7) representa un resorte y un amortiguador en paralelo. Como resultado el resorte y el amortiguador siempre tienen la misma deformación, pero con frecuencia fuerzas diferentes. Para cada carga distinta, el modelo de Kelvin tiene una posición de equilibrio distinta, que es exactamente la misma que la del resorte en el caso de que no esté presente el amortiguador. Sin embargo, como el amortiguador siempre resiste el cambio por deformación en cualquier dirección, siempre resistirá el movimiento hacia una nueva posición de equilibrio y por tanto disipará energía. Es importante reconocer que ambos modelos de Kelvil y Maxwell disipan energía en el amortiguador, pero en el modelo de Kelvin, la deformación del amortiguador se recupera cuando se descarga el sistema porque el resorte está conectado en paralelo.

Para entender mejor el modelo Kelvin, es importante fijarse en un par de casos de limitación importante. El primer caso es una carga aplicada muy lentamente. A medida que el índice de aumento (o disminución) en la magnitud de carga se acerca a cero, el índice de cambio por deformación se acerca a cero, lo que significa que la fuerza en el amortiguador también se acerca a cero. A medida que la fuerza en el amortiguador se acerca a cero, el modelo se comporta como si solo fuera un resorte. En consecuencia, puede concluirse que las cargas aplicadas muy lentamente encuentran más resistencia del resorte y no se disipa tanta energía en el amortiguador.

Por el contrario, una carga corta y breve producirá una fuerza grande en el amortiguador con muy poca fuerza en el resorte. Esto es debido a que el amortiguador, cuya fuerza es proporcional al índice de deformación, fuerza al sistema a deformarse lentamente. El resorte, cuya resistencia es proporcional a la deformación total, independientemente del índice de deformación, nunca ofrecerá mucha resistencia porque el sistema se deforma muy poco en cargas breves. En este caso, casi toda la energía se disipa en el amortiguador.

Con estos dos casos extremos, podemos ver que además de las fuerzas relativas del resorte y el amortiguador, la frecuencia en que ocurre la carga y descarga es muy importante para calcular la fuerza y cantidad de energía almacenada y disipada en cada uno.

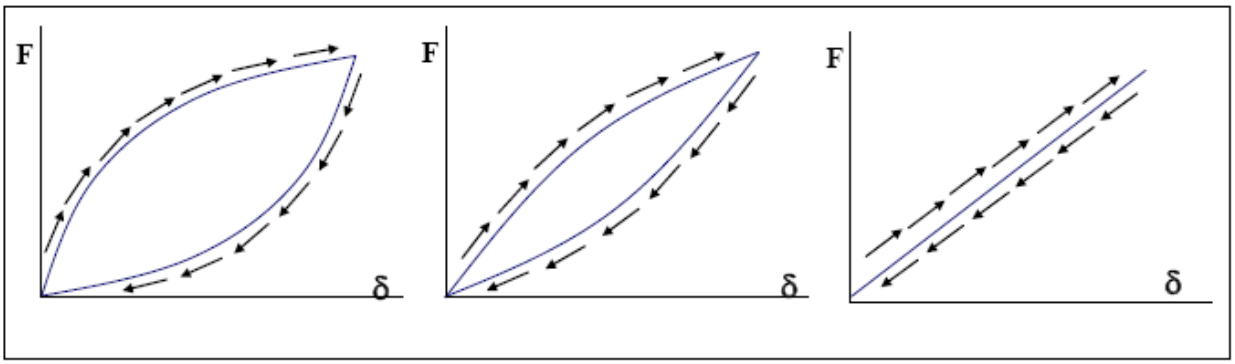


Figura 7. Modelo de Kelvin - Un área contenida por cada ciclo en relación a la energía total disipada por un ciclo de carga.

Izquierda: Amortiguador fuerte y/o carga rápida y descarga rápida = resistencia viscosa alta Medio: carga y descarga relativamente lenta y/o amortiguador relativamente débil = resistencia viscosa baja

Derecha: Las cargas y descargas muy lentas o un amortiguador muy débil (o ninguno) = no hay fuerza viscosa

2.5.3 El Modelo de Fluido Burgers

Un modelo de material más general es el Modelo de fluido de Burgers (Figura 8) que consiste en un modelo Kelvin en serie con un modelo Maxwell. Este es un modelo bastante general en el sentido de que puede simular la capacidad de un material de almacenar y disipar energía, deformarse elástica y viscoelásticamente y recuperar parte, pero no toda, la deformación causada por la tensión. Este modelo incluye todas las propiedades de materiales más básicos en conjunción entre sí y puede ajustarse para representar una amplia variedad de materiales. Para mayor precisión, puede ser necesario añadir muelles elastoplásticos y/o no lineales y amortiguadores no newtonianos, pero los

conceptos subyacentes no cambian. Por ejemplo, los TDA (y la mayoría de suelos) se comprimen lentamente con el tiempo (asentamiento/consolidación) pero cuanto más se comprimen, más lentamente avanza la compactación hasta que dejan de comprimirse del todo. A pequeña escala, esto se debe principalmente a una reducción de vacíos, pero al ver el material a mayor escala nos permite simplificar el análisis si imaginamos que el material tiene un amortiguador no lineal en serie que "toca fondo" en el punto donde la consolidación llega a su límite.

Al igual que los modelos de Maxwell y Kelvin, es muy fácil usar los modelos de fluido Burgers en términos de fuerza y desplazamiento, pero pueden generalizarse fácilmente a la tensión y la deformación para representar un material independientemente de su tamaño.

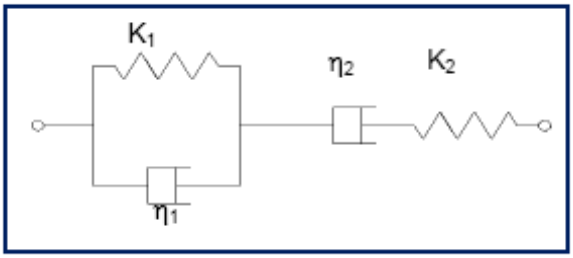


Figura 8. Ilustración de un Modelo de Fluido Burgers Típico

En este ejemplo se usan muelles y amortiguadores lineales, pero siempre tienen que ser lineales necesariamente

2.5.4 Hemos presentado los modelos: ¿Y ahora qué?

Para los ingenieros es importante entender los conceptos de estos modelos materiales. Aunque en la práctica normal de la ingeniería casi nunca se presenta una situación en que se requiere analizar un material cómo un sistema de muelles y amortiguadores, es probable que tengan que trabajar con materiales viscoelásticos y es importante usar su conocimiento de mecánica de los materiales para predecir cosas como la deflexión, asentamiento a largo y corto plazo, absorción de energía, etc. En el resto del capítulo examinaremos una forma en que los ingenieros esta usando su conocimiento de las propiedades viscoelásticas para usar los TDA en proyectos de ingeniería civil.

3.0 Estudio de Caso: Proyecto de Tren Ligero Vasona

3.1 ¿Qué estamos buscando?

El Agregado derivado de neumático (TDA), debido a que esta hecho de partículas viscoelásticas (caucho), tiene el beneficio posible de mitigar la vibración. Sin embargo, con diseñar un experimento para probar solamente si los TDA mitigan o no la vibración no podríamos responder la pregunta más importante que es ¿Deberíamos usar los TDA como cimiento bajo los rieles o no? Para responder esta pregunta más trascendental, es importante sopesar los beneficios contra los costes. Esto origina varias preguntas secundarias, tales como ¿cuán bien mitigan la vibración los TDA? ¿Cuán importante es el beneficio de mitigación de la vibración? ¿Cuán bien se

desempeña estructuralmente los TDA en comparación con las alternativas? ¿Cuál es su impacto medioambiental? ¿Aumentarán o disminuirán los costes de construcción?

Para responder esas preguntas, se llevó a cabo el siguiente experimento por parte de California Integrated Waste Management Board (CIWMB), Valley Transit Authority (VTA), Korve Engineering, Wilson, Ihrig &Associates, y Dr. Dana N. Humphrey (University of Maine) en el patio de mantenimiento VTA en San Jose, CA.

3.2 Diseño del Experimento

Se construyó una vía de prueba usando hilos de neumático con un tamaño mínimo de 12 pulgadas como cimiento envuelto en material geotextil, y se colocó horizontalmente en el lado sur, y con ángulo horizontal en el lado norte, y se cubrió con un mínimo de 12" de lastre y otros 12" de sub-lastre. Los rieles de acero continuo se colocaron en traviesas de hormigón y se conectaron a una sección de control con 8” de lastre y 8” de sub-lastre. Se usaron sondas de dial con una exactitud de 0,001" para medir la deflexión del riel mientras la deformación en los rieles se monitoreaba con sondas de deformación colocadas sobre y debajo de los rieles. Se montaron transductores de vibración en bloqueos situados en la superficie cerca de la vía para monitorear los niveles de vibración.

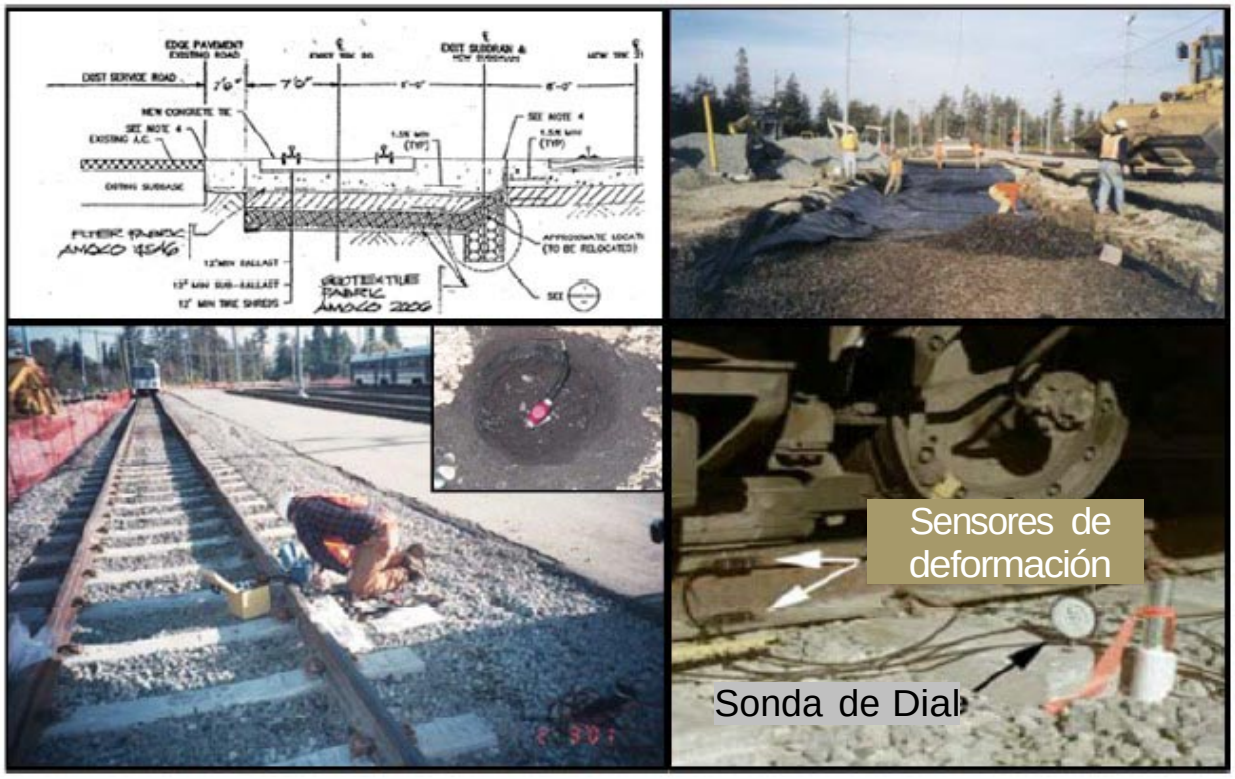


Figura 9. Planos y Construcción de la vía de Prueba

Superior izquierda: Sección trasversal de la vía de prueba Superior derecha: trabajadores cubriendo el cimiento de TDA con geotextil

Inferior izquierda: Pista de prueba terminada y foto de sensor de vibración Inferior derecha: Instalación de la sonda de dial y de deformación

3.3 Resultados

Los resultados de la prueba mostraron que usar hilos de neumático bajo las líneas del tren sí redujo de forma significativa los niveles de vibración. La sección de hilos de neumático también era estructuralmente adecuada. Las deformaciones elásticas causadas por el tren ligero fueron ligeramente mayores que los de la sección de control, pero dentro del rango tolerable. Sin embargo, se produjo alguna deflexión permanente de las traviesas, lo que significa que pueden requerir ser reniveladas con mayor frecuencia. Las vibraciones más significativas del tren están en el rango de 10 a 250 Hertz Las vibraciones de 10 a 80 hertz se sienten mientras que las de 20 a 250 están en el fondo del rango audible. El gráfico muestra una reducción de las vibraciones transmitidas por el suelo en este rango de frecuencia, y de hecho se demostró que existía una reducción de magnitud del orden de 63 hertz, con desempeños incluso mejores para frecuencias más altas. El coste estimado de la vía se calculó en unos $121 por pie, lo que fue más alto que el precio de $100 por pie en secciones de vía normal pero mucho menores que el coste de vía si se usa otro método alternativo de mitigación de la vibración, que va desde $600 a 1000 por pie.

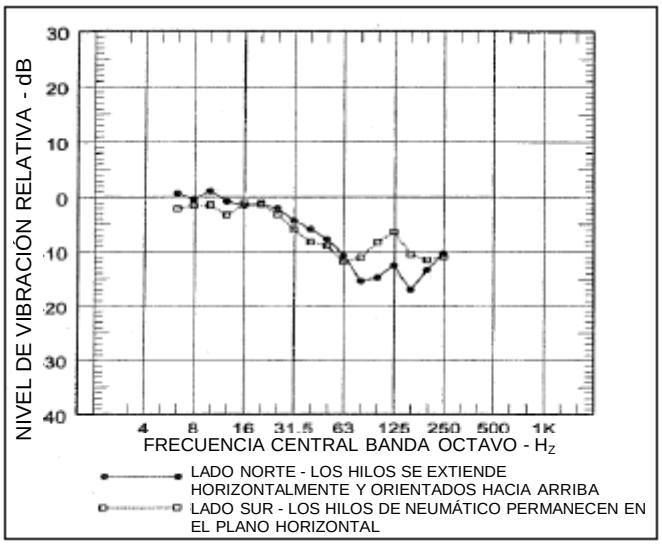


Figura 10. Mitigación de la Vibración

Este es un gráfico que compara las vibraciones de la vía con cimiento de TDA con una sección de vía típica. La línea de cero decibelios representa las vibraciones normales y las dos líneas representan la vibración desde sus respectivas secciones de TDA relativas a la vibración normal. Esto demuestra que el cimiento de TDA reduce la vibración de forma importante. La escala Bel es logarítmica, así que diez decibelios negativos significa un décimo de la vibración normal y menos veinte decibelios es igual a un céntimo de la vibración normal, etc.

3.4 Conclusión del Estudio de Caso

Cuando la vibración no supone un problema, es mejor usar el diseño de vía convencional. Sin embargo, cuando la vibración es motivo de inquietud (por ejemplo cerca de casas o negocios), se puede usar TDA para reducir la vibración por un pequeño aumento de costes sin sacrificar el

desempeño de la vía. De hecho, los TDA funcionaron tan bien que la VTA decidió usar hilos de neumático para varias zonas del proyecto de tren ligero de Vasona donde se requería reducir la vibración debido a la proximidad a viviendas y comercios.

4.0 Resumen y Conclusiones

Algunos materiales, como los TDA, tienen un comportamiento muy complejo que resulta extremadamente difícil de analizar. Sin embargo, los modelos de materiales, que son completamente diferentes, pueden calibrarse para que se comporten de forma muy similar a nivel microscópico. Esto significa que, incluso aunque muchos materiales como los TDA no están hechos de muelles y amortiguadores, su comportamiento general puede modelarse y predecirse de forma exacta usando combinaciones de muelles y amortiguadores. A menudo, en vez de construir un modelo real de muelles y amortiguadores, se recopilan datos de ensayos de un material dado y se usan para formular y calibrar ecuaciones empíricas y/o graficas para adaptarse al comportamiento del material. El enfoque empírico a menudo es más simple y por tanto más usado, pero es importante no perderse en las cifras. Entender los conceptos de cómo funcionan los modelos materiales y los tipos de propiedades asociados a los diferentes comportamientos aumentarán la capacidad del ingeniero para comprender conceptualmente como se comportara un material. Por ejemplo, al observar los tres materiales en la Figura 7, debería ser obvio que el material representado por el gráfico en la parte derecha funcionaría mejor para un trampolín (restaura la energía mecánica por lo que debería ayudar al nadador a saltar más alto) mientras que el material en el extremo izquierdo funcionaria mejor para fabricar una colchoneta de lucha (porque disipa mucha energía). En este ejemplo, se puede exigir a ambos materiales que resistan fuerzas y energía de impacto similar, pero el desempeño dependerá de cómo resisten las cargas, no si pueden soportarlas sin caerse.

Se ha descubierto que los TDA son un buen cimiento para líneas férreas donde se requiere mitigar la vibración (y para otras muchas aplicaciones de ingeniería) porque, al igual que nuestro ejemplo con el trampolín y la colchoneta de lucha, los ingenieros buscan materiales que no solamente funcionen si no que además tengan buen desempeño. Los TDA son un buen material para muchas aplicaciones debido a su desempeño, bajo coste e impacto medioambiental positivo.

5.0 Referencias

1. Dana Humphrey “Civil Engineering Applications using Tire Derived Aggregates” (TDA) [Aplicaciones de Ingeniería Civil con Agregados de Neumáticos] 2003
2. Gere and Timoshenko, "Mechanics of Materials" 3rd edition PWS Kent, 1990
3. Shames and Cozzarelli, "Elastic and Inelastic Stress Analysis", Prentice Hall, 1992

CIVIL 312 Pruebas Estructurales de Laboratorio

1.0 Introducción

El mercado de ingeniería civil engloba un amplio rango de usos para los neumáticos sobrantes. Los materiales de neumáticos de desecho normalmente reemplazan otros compuestos usados actualmente en la construcción como los materiales de relleno ligero, agregado para drenaje o incluso tierra. Una cantidad considerable de los restos de neumáticos para aplicaciones de ingeniería civil proceden de proyectos de reducción de almacenamiento de neumáticos.

Los neumáticos que se recuperan de los montones suelen estar más sucios que los de otras fuentes de neumáticos de desecho y normalmente se trituran para esas aplicaciones. Muchas aplicaciones de ingeniería civil pueden acomodar este material más sucio.

California genera por sí sola alrededor de 40 millones de neumáticos de desecho cada año. Para reducir los montones de neumáticos de desecho, el CIWMB ha aumentado sus esfuerzos para transformar esta chatarra en productos útiles. Una de las principales aplicaciones de los neumáticos de desecho son los agregados derivados de neumáticos (TDA) en proyectos de ingeniería civil. Existen dos tipos de TDA, que se muestran en la Figura 1, usados comúnmente en aplicaciones de ingeniería civil; a saber, Tipo A y Tipo B. Los TDA tipo A, con partículas de tamaño menor a 3 pulgadas, se usan especialmente como material de drenaje, en campos de lixiviado séptico, y para mitigar la vibración de los rieles; los TDA tipo B están compuestos por hilos de neumático más grandes que los del tipo A. Los tamaños de partículas de los TDA tipo B suelen llegar hasta 12 pulgadas de un extremo al otro. Los TDA tipo B se usan mayoritariamente como material de relleno ligero para cementaciones o como relleno ligero posterior para muros de contención.

Figura 1. TDA Tipo A (izquierda) y TDA Tipo B (derecha)

Las aplicaciones de ingeniería civil que usan TDA incluyen:

- Relleno subterráneo y cementaciones
- Relleno para muros de contención y soportes de puentes
- Aislamiento de subsuelo para carreteras

- Drenajes de borde lateral
- Capa anti-vibración bajo las líneas férreas
- Aplicaciones de vertedero
- Campos de Drenaje de Sistema Séptico

De interés especial en este módulo es el uso de hilos de neumáticos para construir cementaciones y rellenos sobre cimientos comprimibles y débiles. Los hilos de neumático son viables para esta aplicación debido a su poco peso, ya que pesan típicamente 1/3 a 1/2 de la tierra que reemplaza. Usar hilos de neumático como material de relleno ligero puede ser significativamente más barato que otras alternativas, especialmente si los neumáticos de desecho son de fácil disponibilidad y el material para relleno ligero no lo es. Las aplicaciones para relleno de suelo y diques incluyen: proteger las carreteras de la erosión, mejorar la estabilidad de pistas de gran pendiente en las autopistas y reforzar sus áreas de borde. El peso ligero de los hilos de neumático también reduce la presión horizontal y permite construir muros de contención más finos y más baratos. Los hilos de neumático también pueden usarse para reducir problemas con la acumulación de agua y escarcha detrás de los muros porque son de drenaje libre y ofrecen buen aislamiento térmico.

Para usar productos de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil, es necesario determinar varias propiedades de los materiales. Algunas de las propiedades que necesitan los ingenieros incluyen:

- Gradación
- Gravedad específica y capacidad de absorción
- Comprimibilidad
- Módulo de elasticidad
- Consolidación dependiente del tiempo de los rellenos con TDA
- Presión lateral del terreno
- Resistencia al corte
- Conductividad hidráulica (permeabilidad)
- Conductividad termal

En este capítulo se investigará la resistencia al corte de productos de neumáticos de desecho. Como este material se desarrolló para ser introducido en un laboratorio de prueba de materiales, que normalmente trata con materiales sólidos como el acero y la madera, el estudiante necesita aprender el comportamiento básico de los materiales discretos, como los TDA. En los cursos de Resistencia o Mecánica de los materiales los estudiantes cubren el continuum de mecánica, que trata sobre los materiales con una distribución uniforme de la materia. Estos materiales son idealizados como sin vacíos y cohesivos, es decir, todas las partes están conectadas entre sí y no tienen roturas, grietas o separaciones. Los materiales que se abordan en este capítulo, incluyendo el caucho triturado y los TDA son materiales discretos, que contienen vacíos de aire y pueden poseer o no cohesión. Estos materiales exhiben propiedades mecánicas similares a las arenas y gravillas que reemplazan.

1.1 Objetivos

El objetivo de este plan de lección es que los estudiantes entiendan la resistencia al corte de los productos de neumáticos de desecho. Se les introduce a las aplicaciones de ingeniería civil de los

TDA y a las propiedades mecánicas requeridas para diseñar esos proyectos. En particular, se presentaran los factores que afectan la resistencia al corte de los TDA. Determinar la resistencia al corte de los TDA no es posible dado el tamaño del equipo de pruebas disponible en un laboratorio normal de prueba de materiales, por lo que las pruebas se realizarán con muestras de caucho triturado (otro producto de neumáticos de desecho). Se usa una máquina de prueba de corte directo para determinar la relación entre la resistencia al corte y la tensión normal para una muestra de caucho triturado. Los valores de c y φ para el criterio de fallo Mohr-Coulomb serán calculados para la muestra de caucho triturado.

2.0 Factores que Afectan la Resistencia al Corte de los TDA

En el estudio del continuum de mecánica, los cuerpos deformables desarrollan estrés normal (tensión o compactación) y al corte cuando se aplican cargas sobre ellos. Los materiales quebradizos fallan en la tensión perpendicular al máximo estrés tensil mientras que los materiales fallan en el corte paralelo a la tensión máxima al corte. El índice de Poisson, ν, relaciona la contracción del eje transversal a la elongación longitudinal (o vice versa) y que el rango para ν es de $0{,}25 < \nu < 0.34$ para la mayoría de materiales de ingeniería civil.

Los productos de neumáticos de desecho (incluyendo TDA, caucho triturado y pulido de neumáticos) son materiales discretos y pueden soportar la compactación pero no el estrés tensil y suelen fallar en el corte a lo largo del plano de debilidad. Hay cuatro factores que afectan la resistencia al corte del caucho triturado y TDA:

- Tamaño y forma de los hilos de caucho.
- La densidad (embalaje) de la muestra al principio de la prueba.
- Magnitud de la carga normal comprimida,
- La orientación de las partículas en la muestra.

2.1 Tamaño y Forma de los Neumáticos de Desecho Triturado

La muestra de caucho triturado tiene “gradación uniforme”; es decir, todas las partículas tienen casi el mismo tamaño y aproximadamente la misma forma cúbica. Por otra parte, los TDA (hilos de neumático) también tienen una gradación bastante uniforme pero de forma irregular, siendo mas como un platillo. Los siguientes esquemas muestran las curvas de gradación típicas para TDA, caucho triturado y pulido de caucho:

Figura 2. Tamaño y Forma de los Pulidos de Neumático (arriba) y Caucho Triturado (abajo)

La figura 3 muestra la gradación para los TDA tipo A de varios fabricantes e ilustra que las muestras suelen tener gradación uniforme (mismo tamaño) Sin embargo, el tamaño máximo depende del fabricante. Las pruebas de gradación se realizan en conformidad con las normas ASTM 422 Las curvas de gradación para los TDA tipo B que se muestran en la Figura 4 también tienen gradación uniforme con un tamaño de partículas que seria considerada como gravilla tosca o cantos.

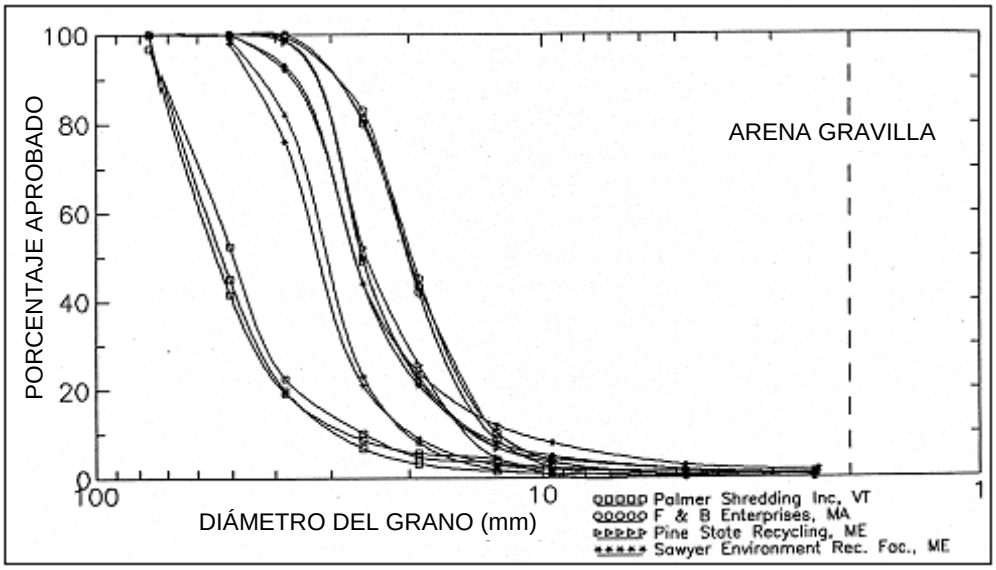


Figura 3. Gradaciones de TDA Tipo A de Diferentes Fabricantes

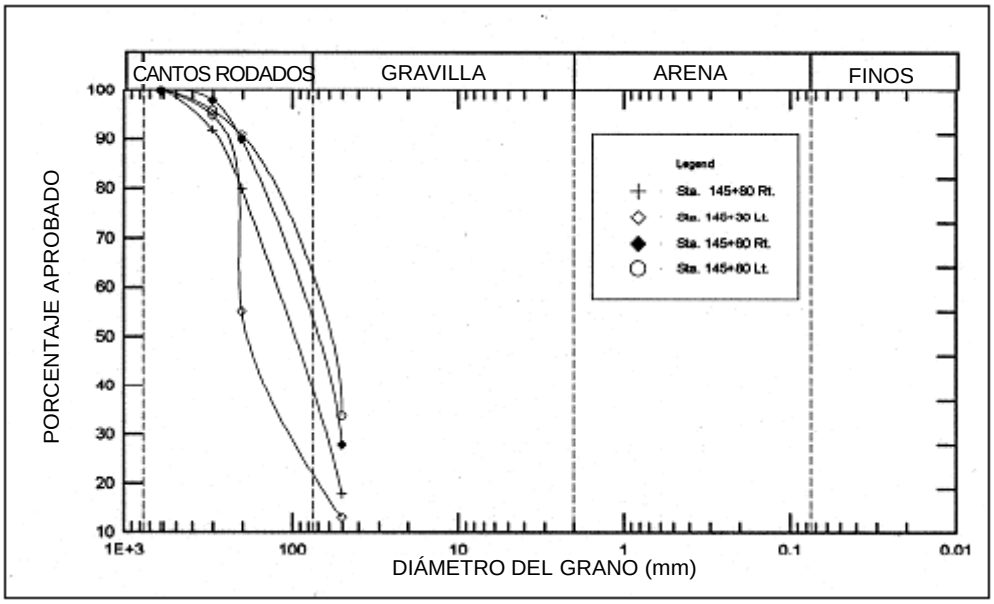


Figura 4. Gradaciones de TDA Tipo B de Diferentes Fabricantes

Las siguientes figuras muestran la gradación del caucho triturado y pulidos de neumático usado como neumático triturado en la muestra de resistencia al corte en la CSU, sede Chico.

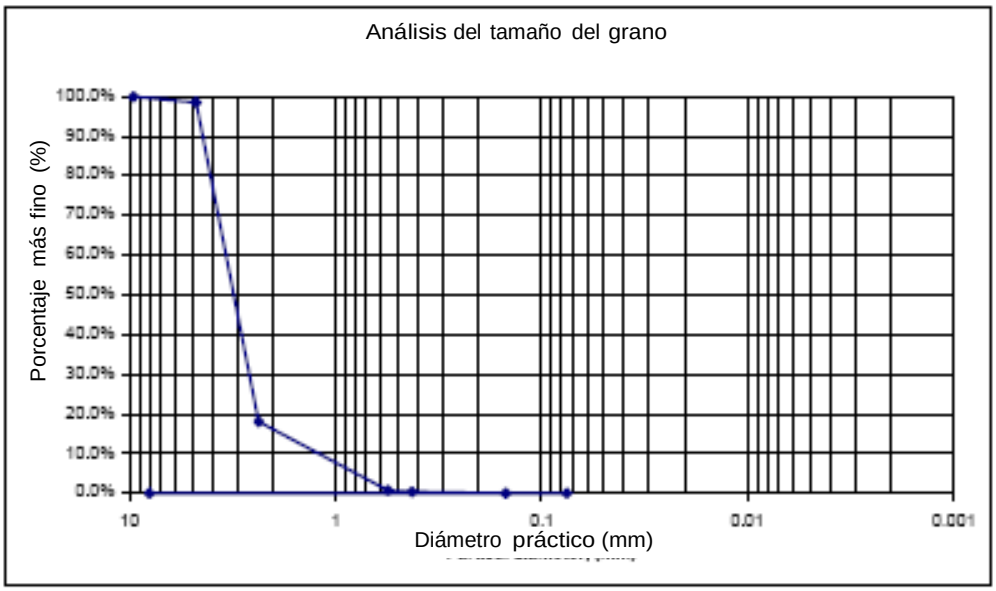


Figura 5. Gradación de las Partículas del Caucho Triturado de Muestra Usado en CSU, Chico

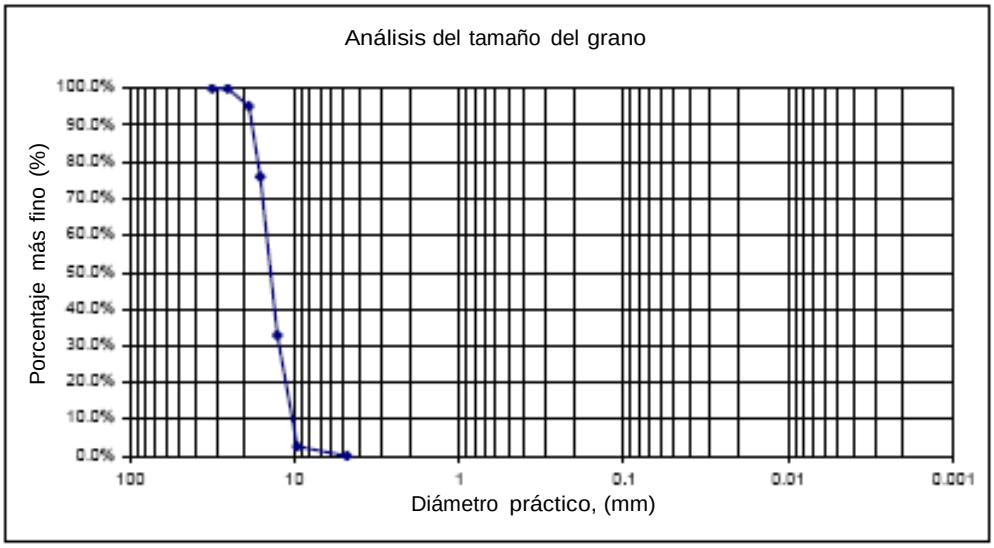


Figura 6. Curva de Gradación para Pulidos de Neumáticos Usada en CSU, Chico

2.2 Efecto de la Densidad del Neumático Triturado

El segundo factor que influye en la resistencia al corte de los materiales granulosos es la densidad (envase) de la muestra al inicio de la prueba. La preparación de la muestra puede influir en el comportamiento de resistencia al corte/tensión del espécimen. Inicialmente las muestras sueltas disminuyen en volumen a medida que la muestra es cortada, mientras que las muestras de empaquetado denso se “dilatan” o expanden a medida que se corta el espécimen. Este fenómeno requiere medir el desplazamiento perpendicular a la dirección de la carga para determinar que comportamiento exhibe la muestra.

Las características del cambio de volumen relativo de la muestra son una función del índice de vació inicial, e, definido como volumen de vacíos/volumen de sólidos. Las muestras de empaquetamiento denso poseen un índice de vacío bajo y se dilatan cuando se cortan mientras que las muestras de empaque suelto poseen un alto índice de vació se densifican al ser cortadas. Para esferas uniformes y con empaquetamiento denso, el siguiente gráfico muestra en cambio en la tensión de corte e índice de vació como función del desplazamiento de corte de la muestra:

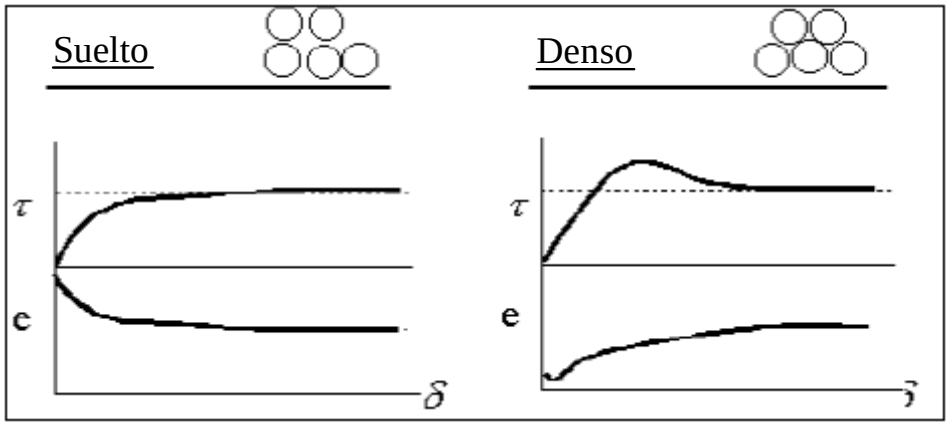


Figura 7. Tensión al Corte e Índice de Vacío Cambia con el Desplazamiento de Corte Horizontal

Obsérvese que existe un índice de vacío, llamado índice de vacío crítico, que es el índice de vacío que alcanzan todos los tipos de muestra después del corte. El índice de vacío crítico también es el punto de transición entre dos tipos de comportamiento de cambio de volumen al corte. En otras palabras, es el índice de vacío más alto donde ocurrirá la dilación cuando se corta la muestra.

2.3 Efecto de una fuerza normal en la resistencia al corte

El tercer factor que influye en la resistencia al corte de un material granular es la magnitud de la carga de fuerza normal (perpendicular a la fuerza de corte aplicada). A medida que aumenta el estrés normal en la muestra, la resistencia al corte de la muestra también aumenta. La relación entre la tensión normal y la tensión de corte para un material granulado como el caucho triturado y TDA lo da el criterio de fallos Morh-Coulomb:

$$\tau = c + G\tan\varphi$$

τ = tensión de corte en plano de fallos
σ = tensión normal en plano de fallos
c = la intersección de cohesión (=0 para materiales granulosos)
φ = ángulo de fricción interna (inclinación de la línea que relaciona la tensión de corte con la tensión normal).

Aunque los TDA son un material granular, posee cohesión aparente bajo una carga comprimida similar a los suelos cohesivos.

El foco aquí es determinar la resistencia al corte de los productos de neumáticos de desecho. Existen dos pruebas de laboratorio disponibles normalmente para lograrlo: Prueba triaxial y prueba de corte directo.

El dispositivo de prueba triaxial que se muestra en la Figura permite la aplicación de una tensión de confinamiento mediante la presurización de la muestra con aire o agua a presión, que rodea la muestra. Entonces se puede aplicar la carga vertical al espécimen hasta lograr el fallo. La carga vertical produce una tensión en la muestra sobre la tensión de confinamiento, llamada tensión

desviatoria. Esta tensión desviatoria forma el diámetro del círculo de Mohr, el cual aumenta al incrementar la presión de confinamiento para la prueba de drenaje de TDA.

Figura 8. Aparato Típico para Prueba de Corte Triaxial

Los resultados de la prueba triaxial sobre material sin cohesión en la configuración drenada (lo que significa que no se puede crear presión de agua sin poros, como ocurre para materiales granulados secos) se muestra en la siguiente figura. Nótese que la línea tangente al fallo del círculo de Mohr pasa por el origen (cohesión cero) y tiene una pendiente igual al ángulo de fricción interna para ese material. Las combinaciones de tensión normal y de corte que tienen círculos de Mohr bajo el sobre, no resultan en el laboratorio con la prueba de corte directo. La Figura 10 muestra cuan alta puede ser la caja y 1" en fallo del espécimen, los valores superiores representan el fallo de la muestra.

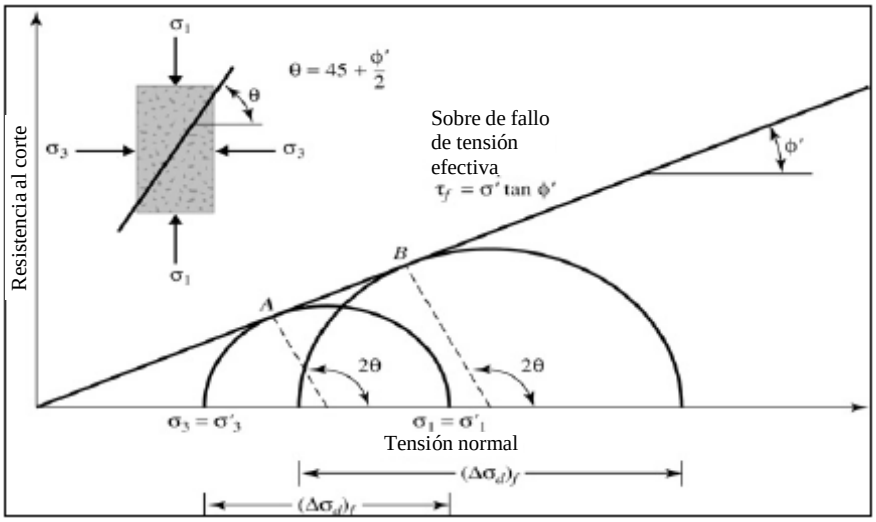


Figura 9. Ejemplo de Sobre Fallo de la Prueba Triaxial

El segundo procedimiento de prueba que se realiza normalmente en el laboratorio es la prueba de corte directo. La figura 10 muestra el aparato para prueba de corte directo:

Figura 10. Aparato Típico para Prueba de Corte Directo

El equipamiento de prueba consiste en una caja de corte metálico en que se coloca la muestra. La caja puede ser rectangular o circular. Las cajas cuadradas suelen medir 2” x 2” o 4 X 4 y 1” de alto.

La caja se divide horizontalmente en dos mitades como se muestra en la Figura 11.

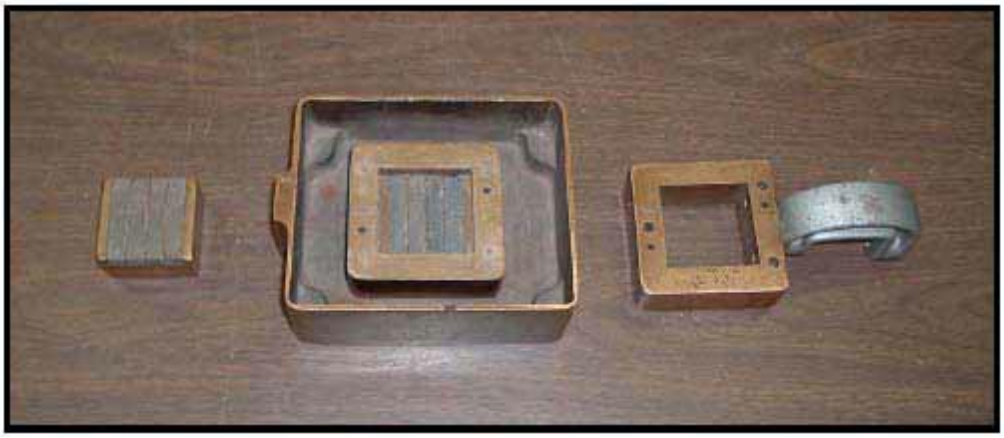


Figura 11. Componentes de la Caja de Corte en un Aparato de Corte Directo

La fuerza normal sobre la muestra se aplica desde la parte superior de la caja de corte (en la izquierda superior). La fuerza de corte se aplica moviendo la mitad superior de la caja relativa a la mitad inferior de la caja como se muestra abajo:

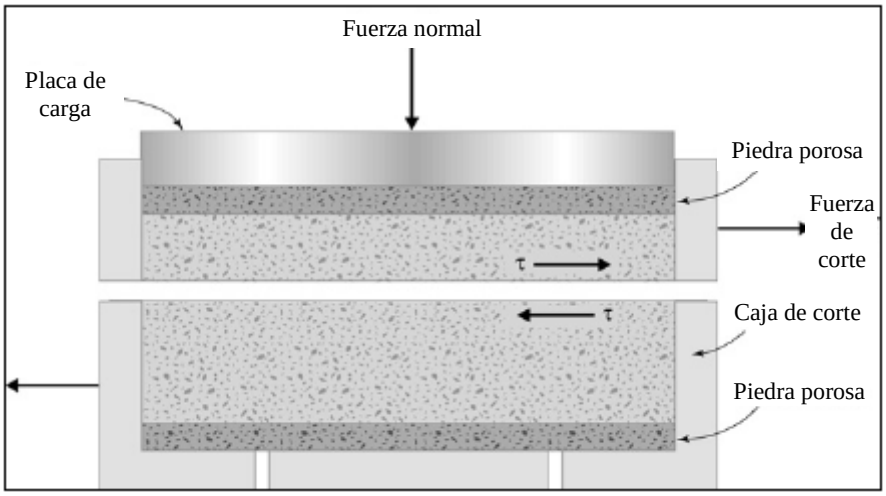


Figura 12. Esquema de Configuración y Carga de la Caja de Corte

Durante la prueba, el desplazamiento de corte a través del plano de corte es registrado por una sonda dial horizontal, y el cambio en la altura del espécimen es medido por una sonda dial vertical (para permitir el cálculo del cambio de volumen). La fuerza normal se aplica a medida que el peso muerte de la carga actúa verticalmente sobre el espécimen como se ilustra en la Figura 13.

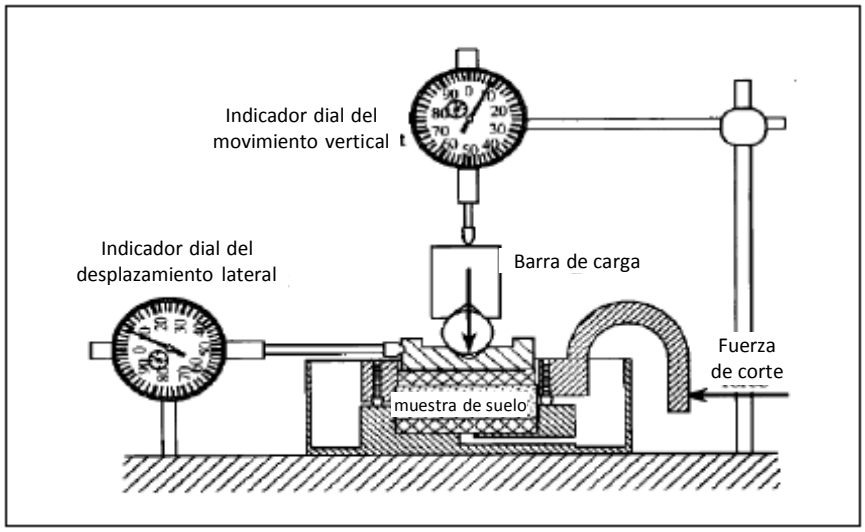


Figura 13. Medición de Fuerza y Desplazamiento de una Prueba de Corte Directo

Como se ilustra en la Figura 14, a medida que la mitad del espécimen es forzado a deslizarse hacia la otra mitad, se desarrolla una fuerza de corte en la superficie de corte entre las cajas. La fuerza de corte puede medirse con un anillo de prueba horizontal o una célula de carga. La tensión normal se calcula desde la fuerza normal y la zona seccional transversal de la caja de corte. La tensión de corte se calcula desde la fuerza de corte y el área transversal. En la etapa inicial de la prueba, bajo una tensión dada, la tensión (resistencia) de corte aumentará gradualmente con el creciente desplazamiento de corte. La tensión resistente al corte alcanzará un máximo, y después no seguirá aumentando ni disminuyendo, como se indica en la siguiente curva de tensión de corte versus desplazamiento de corte. Físicamente, esto significa que ha ocurrido un fallo y que la muestra ya no es capaz de soportar una tensión de corte adicional.

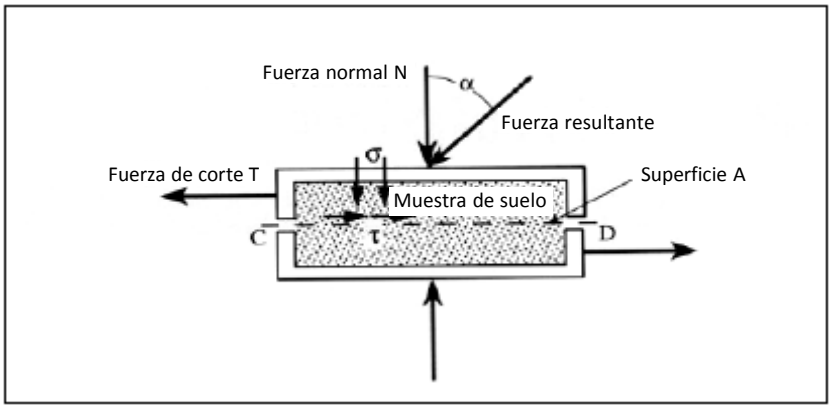


Figura 14. Fuerza Normal y Fuerza de Corte para Pruebas de Corte Directo

Para cada prueba con tensión normal específica, se registra una tensión máxima de corte y la tensión normal y la correspondiente tensión de corte se registra como un punto en el sistema versus coordenada tau. Para un suelo dado, se realizan varias pruebas de corte directo a diferentes niveles sin tensión. Las tensiones normales y la tensión máxima de corte correspondiente se obtiene de una serie de pruebas registradas en el sistema de σ-τ coordenadas tau que se muestra en la Figura 15:

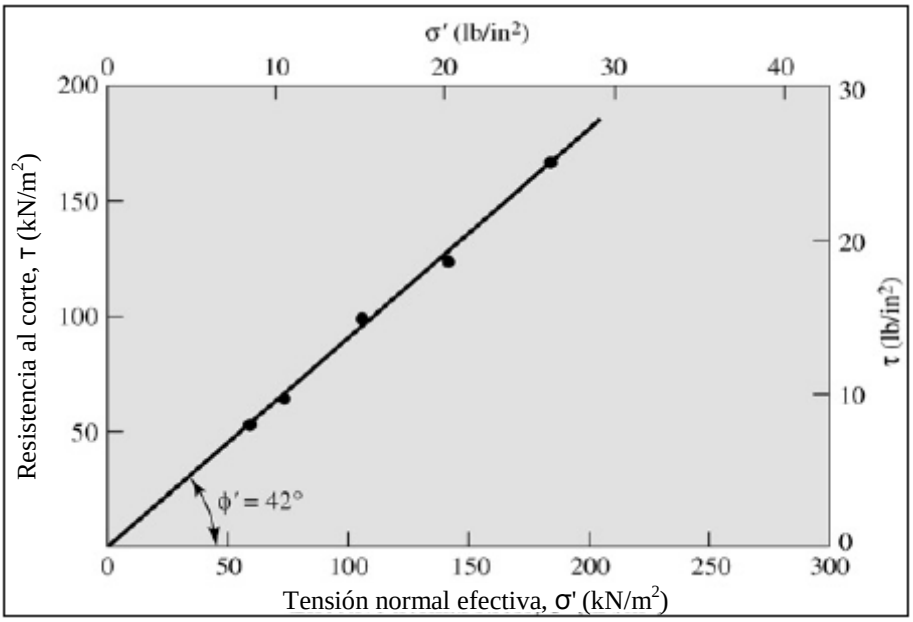


Figura 15. Fuerza Normal Versus Resistencia de Corte de la Prueba de Corte Directo

Los resultados de las pruebas normalmente exhibirán una relación aproximadamente lineal. Usando el método de cuadrados mínimos, se puede determinar la mejor línea de ajuste. La mejor línea de ajuste es la línea de fallo, que tiene una ecuación definida por el criterio de fallo Mohr-Coulomb. Por consiguiente, la pendiente de la línea es tan φ (ángulo interno de fricción) y su intersección con el eje τ es c' (cohesión)

Las siguientes curvas en la Figura 16 muestran que la tensión de corte y la altura de la muestra cambian en comparación los puntos de desplazamiento de corte para muestras de suelo granular suelto y denso. Para las muestras de arena suelta, la tensión de corte se desarrolla y aumenta para resistir el deslizamiento hasta que se llega a un punto de fallo de tensión de corte τ_f. Después de eso, la curva se nivela y la resistencia de corte se mantiene aproximadamente en τ_f. Esta tensión de fallo (τ_f) se define como la resistencia al corte final de la muestra. Para muestras densas, la tensión de resistencia al corte aumenta hasta un nivel pico (llamado resistencia de corte pico), se reduce ligeramente y termina acercándose a un valor constante que es igual a la resistencia al corte final de la muestra.

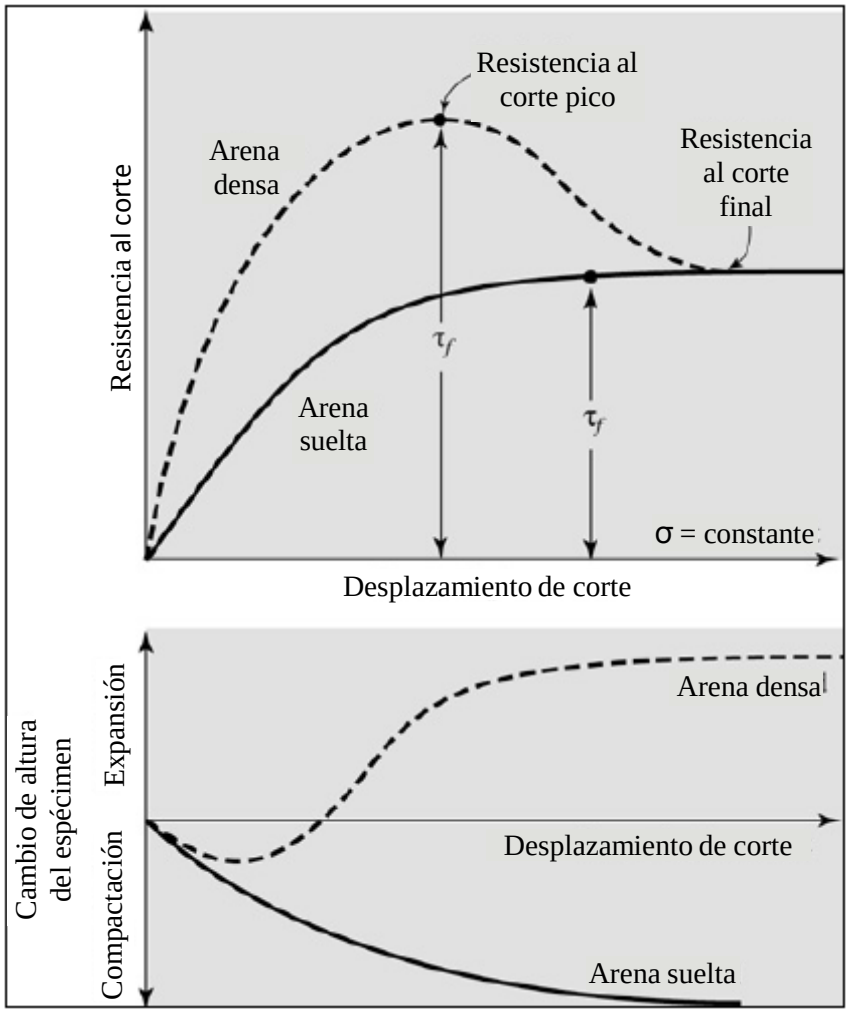


Figura 16. Comparación de los Resultados de Prueba de Corte Directo Entre Arenas Sueltas y Densas

El método de prueba de corte directo tiene ventajas y desventajas características. Entre sus desventajas se incluye el hecho de que la muestra es forzada a fallar en el plano de la división de la caja de corte, en vez de en el plano de debilidad natural. Asimismo, la distribución de la tensión de corte no es uniforme en toda la muestra, pero se asume que lo es. Entre sus ventajas se encuentran que son fáciles de realizar y son un buen método para probar la resistencia al corte a lo largo de superficie de contacto de distintos materiales (Ej., TDA y materiales para cimientos)

2.4 Orientación de las Partículas TDA

El cuarto factor que influye en la resistencia al corte de TDA es la orientación de las partículas. Una orientación aleatoria tendría diferente características de resistencia al corte que si la muestra se orienta horizontalmente o verticalmente en la caja de corte, Actualmente no hay datos que comparen los efectos de la orientación sobre la resistencia al corte de TDA.

3.0 Medición de la Resistencia al Corte de TDA de la Literatura

Es importante conocer las propiedades de ingeniería de los TDA, especialmente la resistencia al corte de los TDA más grande tipo B, en aplicaciones de relleno de cementaciones y relleno posterior de muros de contención. La resistencia al corte de los TDA puede determinarse en el laboratorio realizando pruebas de corte directo o pruebas triaxiales. Hay resultados disponibles en la literatura para en hilos de neumático de tamaño pequeño. Sin embargo, debido al tamaño más grande de los hilos de neumático de los TDA tipo B, que puede llegar a las 12 pulgadas de extremo a extremo, rara vez se usan las pruebas de corte directo o las triaxiales debido a las limitaciones de tamaño de las cajas de corte o células de carga triaxial normalmente disponibles. La prueba triaxial no debería usarse para hilos de neumático con bandas de acero protuberantes ya que pueden perforar la membrana que contiene la muestra.

Calcular la resistencia al corte de TDA de 3 pulgadas o más usando datos de pruebas de corte directo realizadas con hilos neumáticos más pequeños no es apropiado porque los hilos de neumático grandes tienen distinto tamaño, forma y patrón de contacto de partículas que los hilos de menor tamaño. El siguiente gráfico compara la tensión de corte con la deformación horizontal para un TDA menor de 2 pulgadas con tres tensiones normales distintas (250, 500 y 1000 psf). Esas curvas indican el comportamiento en estado inicial suelto para la muestra TDA sin dilatación como la tasa de tensión de corte aumenta y disminuye con un aumento en el desplazamiento de corte.

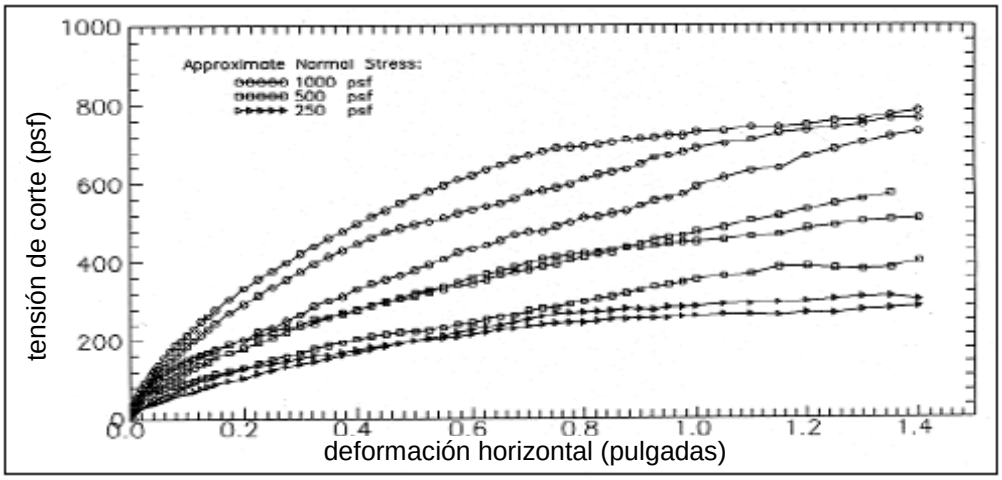


Figura 17. Tensión de Corte Versus Deformación Horizontal para Hilos de Neumático Reciclados de Marca Pine State en las Pruebas con Caja de Corte Directo (Humphrey, 2003).

El siguiente gráfico compara los sobres de fallo para las pruebas realizadas con niveles bajos de tensión, inferiores a 2.000 psf. En todos los casos, los sobres de fallo fueron no lineales y cóncavos descendentes. Por tanto, las pruebas deben realizarse con tensiones normales cercanas a lo que nos encontraríamos sobre el terreno si tenemos que ajustar el sobre de fallo lineal a los datos.

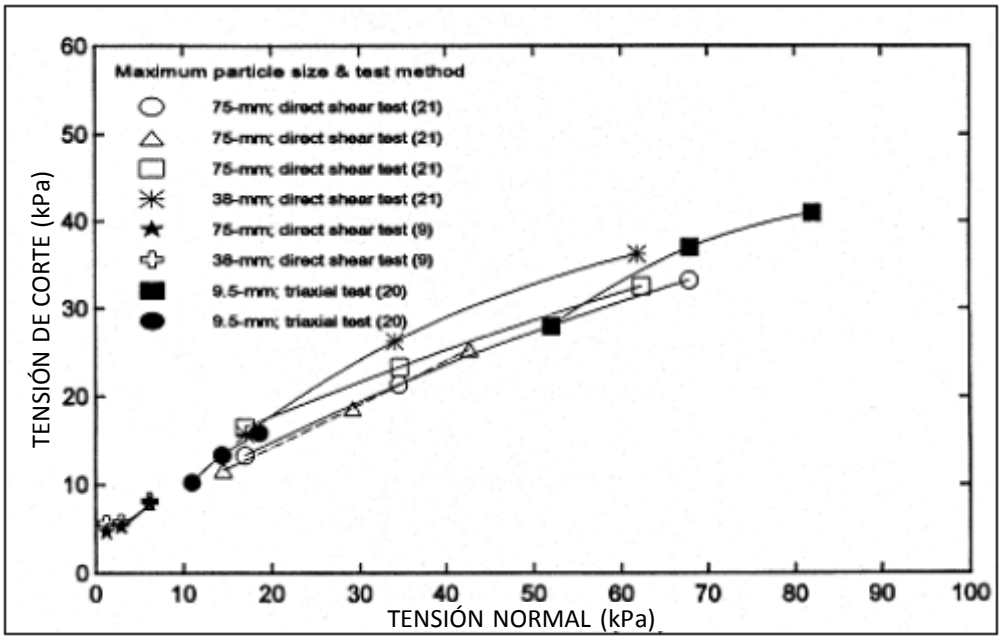


Figura 18. Comparación de Sobres de Fallo de TDA a Niveles de Tensión Inferiores al Normal (menores a 2000 psf)

Las pruebas de 0,5 y 1 pulgadas para hilos de neumáticos a niveles más altos de tensión produjeron sobres de fallos que son aproximadamente lineales. Para pruebas de alta tensión, usando un criterio de fallos de deformación axial del 15%, Ahmed (1993) obtuvo intersecciones de cohesión desde 572 a 689 psf y ángulos de fricción desde 15,9 a 20,3 grados.

4.0 Ejemplo de Tarea de Laboratorio para los Estudiantes: Prueba de Corte Directo para Caucho Triturado

El siguiente documento es un informe de laboratorio desarrollado para introducir a los estudiantes a la resistencia al corte de los productos de neumáticos de desecho. La prueba de corte directo para caucho triturado se investiga en este ejercicio de laboratorio.

4.1 Objetivo

Determinar la relación entre la resistencia al corte y la tensión normal para una muestra de caucho triturado usando una máquina de prueba de corte directo . Los valores de c y φ para el criterio de fallo Mohr-Coulomb serán calculados para una muestra de caucho triturado.

4.2 Trasfondo

En muchos problemas de ingeniería como el diseño de cimientos, muros de contención, puentes de losa, tuberías, tabla estacas, se requiere conocer para el valor del ángulo de fricción y cohesión interna del suelo para hacer el diseño. La prueba de corte directo puede usarse para predecir estos parámetros rápidamente. Esta actividad de laboratorio cubre los procedimientos de laboratorio necesarios para determinar esos valores de materiales granulares. El criterio de fallo Mohr-Coulomb se da como:

$$\tau = c + G\tan\varphi$$

donde τ = tensión de corte en plano de fallos

σ = tensión normal en plano de fallos

C = la intersección de cohesión (=0 para materiales granulosos)

φ = ángulo de fricción interna (inclinación de la línea que relaciona la tensión de corte con la tensión normal).

El Angulo de fricción interna, φ es una función de la distribución del tamaño y forma del grano y del método de compactación de la muestra. Una muestra con empaquetado denso se dilatará cuando se cargue a una tensión de corte mayor que una muestra suelta, aumentando así el ángulo de fricción interna.

4.3 Equipamiento

Aparatos para Prueba de Corte Directo

1. Caja de corte
2. Marco de carga para carga de corte y vertical
3. Sondas diales.
4. Anillo de prueba con sonda dial.

4.4 Descripción del equipamiento

La Figura 19 muestra un dispositivo para prueba de corte directo, con una caja de corte, bandeja de fuerza normal, válvulas para medir el desplazamiento vertical y horizontal, anillo de calibración y motor de carga de corte. El dispositivo para prueba de corte directo controlado por tensión consiste en una caja de corte, unidades de carga para aplicar fuerza de corte y fuerza vertical normal, un anillo de calibración para medir la fuerza de corte y sondas diales para medir la deformación de corte y los cambios de volumen. Una caja de corte cuadrada de dos piezas es el tipo de dispositivo que se usara en este laboratorio (ver Figura 20).

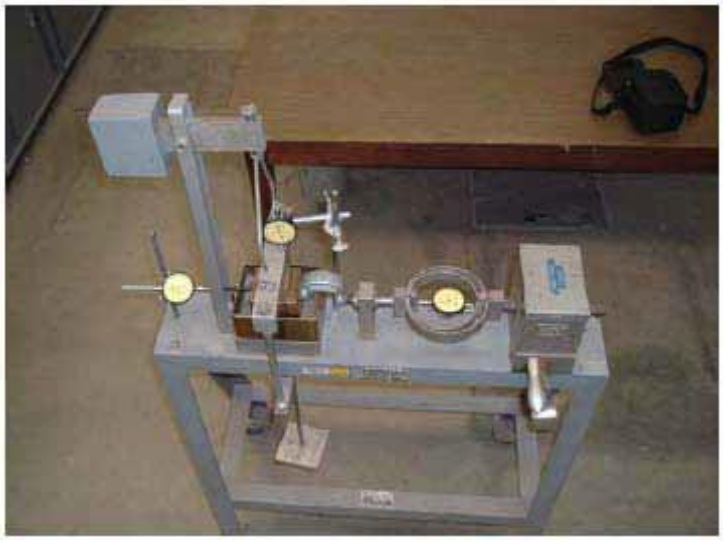


Figura 19. Instalación del Dispositivo de Prueba de Corte Directo

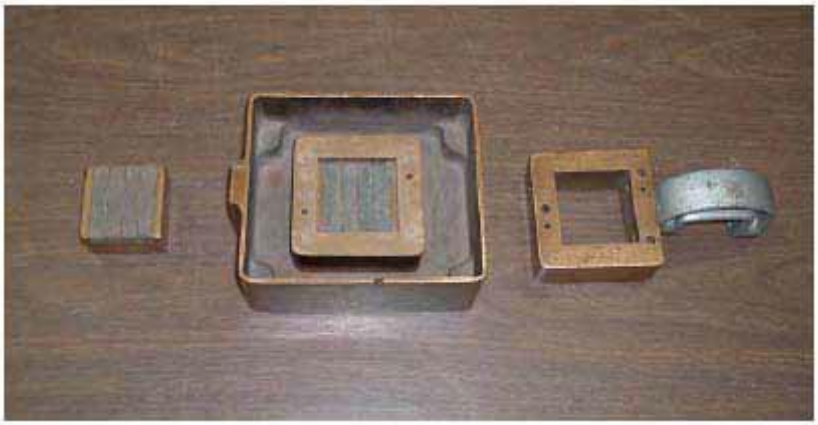


Figura 20. Caja de Corte Desarmada que Muestra (izquierda a derecha) Cabezal de Carga de Fuerza Normal, Base Fija y Parte Deslizante de la Caja de Corte.

4.5 Procedimiento

1. Medir las dimensiones internas de la caja de corte. Estas medidas serán necesarias para calcular las tensiones.

2. Retirar el espaciador y los tornillos de fijación y montar la caja con las clavijas temporales proporcionadas.

3. Colocar la muestra en capas suaves (de 10 mm de espesor aproximadamente). Si se desea una muestra densa, hay que apisonar el espécimen. Aplanar la superficie de la tierra, un poco por debajo de la superficie superior y colocar el bloque de carga normal sobre la muestra.

4. Colocar la caja de corte armada en la máquina de prueba y aplicar la fuerza deseada normal a la bandeja de carga. Fijar la sonda de desplazamiento vertical como se muestra en la Figura 1. Se debería incluir el peso de bloque de fuerza normal y la parte superior de la caja de corte como parte de la carga de muestra.

5. Retirar la clavija de corte.

6. Adelantar los tres tornillos verticales situados en las paredes laterales de la parte superior de la caja de corte. El espacio entre las dos mitades debería ser del tamaño de las partículas de la muestra.

7. Fijar el cabezal de carga apretando los dos tornillos horizontales situados en la mitad superior de la caja de corte. Después, retirar los tres tornillos verticales para que no haya conexión entre las cajas de corte superior e inferior.

8. Fijar la sonda dial que mide el desplazamiento de corte como se muestra en la Figura 19.

9. Registrar las lecturas iniciales de las sondas diales y los valores de calibración.

10. Antes de pasar a revisar todos los ajustes, comprobar que no haya ninguna conexión entre las dos partes excepto la muestra de caucho triturado. Ahora está todo listo para empezar la prueba.

11. Aplicar la fuerza de corte al espécimen a una tasa de 0,5 a 2 mm por minuto (esto se debería Practicar antes para obtener la tasa correcta) mientras se registran las lecturas de las tres sondas de dial. (Usar las hojas de cálculo entregadas). Tomar lecturas a 5, 10, 20, 30, etc. (incrementos cada 10) de las unidades de desplazamiento horizontal. Continuar la carga hasta que el anillo de calibración:

a. alcance un valor máximo y después caiga, o

b. la lectura llegue a un máximo y después permanezca constante

12. Repetir la prueba por lo menos dos veces a distintas fuerzas normales.

4.6 Cálculos para los Resultados de la Prueba de Corte Directo

1. Calcular la tensión normal, $\sigma = \frac{\text{carga normal}}{(L)(B)}$

2. Para la tabla 1, se obtienen las lecturas horizontales, verticales, del anillo calibrador de la sonda dial para la prueba (columnas 2, 3, y 4)

3. Para lecturas horizontales y verticales de la sonda dial, calcular la fuerza de corte (columna 6)

S = (número de divisiones en el anillo calibrador de la sonda dial, es decir Columna 4) x (factor de calibración del anillo; es decir, Columna 5)

4. Calcular la tensión de corte, τ como (Columna 7)

$$\tau = \frac{\text{fuerza de corte, S}}{\text{área del espécimen}} = \frac{S}{(L)(B)}$$

Nota: Tiene que usarse una hoja de cálculo separada para cada prueba (es decir, para cada tensión normal, σ).

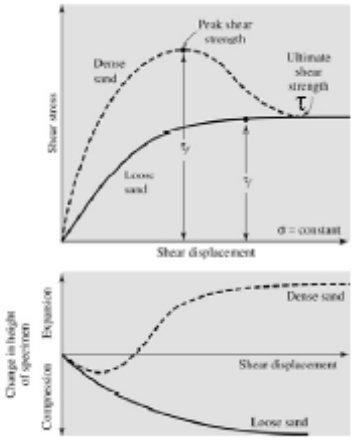
4.7 Gráficos para los Resultados de la Prueba de Corte Directo

1. Para cada tensión normal, hacer un gráfico de τ (Columna 7) versus desplazamiento horizontal (Columna 2) (como se muestra en la figura 21 de abajo para los resultados obtenidos de la tabla 1). En el fondo del mismo gráfico, usando la misma escala horizontal, trazar el gráfico del desplazamiento vertical (Columna 3) versus el desplazamiento horizontal (Columna 2). Tienen que haber al menos tres líneas (una por cada valor de σ). Determinar las tensiones de corte en fallo, s, de cada τ, versus el gráfico de desplazamiento horizontal (como se muestra en la figura 21).

2. Trazar un gráfico de resistencia al corte, s, versus la tensión normal, σ Este gráfico debería ser una línea recta que pasa por el punto de origen. La Figura 21 muestra una línea para la muestra de arena. El ángulo de fricción del suelo puede determinarse a partir de la pendiente de línea reta de s, versus σ como

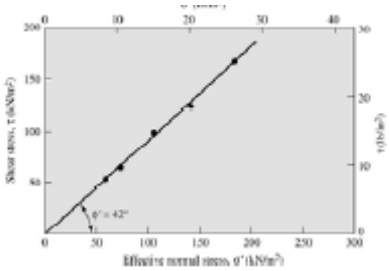
$$\varphi = \tan\text{-}1(s/\sigma)$$

Ejemplo de curvas del prueba de corte directo



Text figur

Ejemplo de sobre fallado (para arena seca, la nota c es cero)



Text figur

Figura 21. Resultados de la Prueba de Corte Directo en la Muestra de Arena

HOJA DE CÁLCULO PARA DATOS DE LA PRUEBA DE CORTE DIRECTO DEL CAUCHO TRITURADO

Nombre _____ Número de grupo de laboratorio_____

Fecha de la prueba _____

Dimensiones de la caja de corte, L: = _____ B = _____

Carga normal = _____ Tensión normal = _____

Tasa de carga = _____ Constante del anillo de carga = _____(bajo)

= _____ alto

Tabla 1. Pruebe de corte directo

Tensión normal (1)	Desplazamiento horizontal (2)	Desplazamiento vertical (3)	Lectura de la sonda dial (4)	Factor de calibración del anillo (5)	Fuerza de corte (6)	Resistencia al corte (7)

Constante del anillo de calibración..... Resultado menor del dial.....

Factor de calibración.....

Factor de palanca.....

Dimensiones de la caja de corte 60 x 60 mm

Peso vacío de la caja de corte.....

Cuenta mínima de la sonda dial.....

Cambio de volumen.....

S. Nº:	Carga normal (kg)	Tensión normal de carga (kg/cm2) x palanca/área	Tensión normal de carga (kg/cm2) x palanca/área	Tensión de corte lectura del anillo de calibración x calibración / área de contenedor
1 2 3				

5.0 Comentarios generales

1. En la prueba de caja de corte, el espécimen no da fallos en su plano de debilidad si no que lo hace a lo largo de un plano de fallo inducido o determinado; es decir, el plano horizontal que separa las dos mitades de la caja de corte. Esta es la principal desventaja de esta prueba. Más aún, durante la carga, no se puede evaluar el estado de tensión. Puede evaluarse solamente en la condición de fallo; es decir, el Círculo de Mohr puede extraerse únicamente de la condición de fallo. Además, el fallo es progresivo.

2. La prueba de corte directo es simple y más rápida de operar. Si se usan especímenes más finos en la caja de corte, se facilita el drenaje de agua porosa de la muestra saturada en menos tiempo. Esta prueba también es útil para estudiar la fricción entre

dos materiales, estando uno de ellos en la mitad inferior de la caja y el otro en la mitad superior.

3. El ángulo de resistencia de corte de la arena depende del estado de compactación, tosquedad de los granos, tamaño de las partículas y aspereza de la superficie y gradación del grano. Esta varía entre 280 (arenas de gradación uniforme con granos redondeados en estado muy suelto) a 460 (arena bien granulada con granos angulares en estado denso)

4. El cambio de volumen en arenas aceitosas es un fenómeno complejo que depende de la gradación, forma de las partículas, estado y tipo de empaquetamiento, orientación de los planos principales, índice de tensión principal, historial de tensión, magnitud de la tensión menor principal, tipo de aparato, procedimiento de prueba, método de preparar el espécimen, etc. En general las arenas sueltas se expanden y las densas se contraen en volumen durante el corte. Hay un índice de vacío en la expansión o contracción de volumen que se produzca. Este índice de vacío recibe el nombre de índice de vacío crítico. La expansión o contracción puede inferirse del movimiento vertical de la sonda dial durante el corte.

5. La fricción entre las partículas de arena es debida a la fricción del deslizamiento y rodamiento y a la acción de ínter bloqueo.

   Los valores finales del parámetro de corte para la arena suelta y densa alcanzan aproximadamente el mismo valor, por lo que si el ángulo de fricción se calcula al final, la ligera alteración de densidad durante las pruebas y la preparación del espécimen de muestra no tendrán demasiada influencia.

6.0 Conclusiones y Recomendaciones

Se pueden extraer las siguientes recomendaciones para este módulo didáctico:

- Para determinar las propiedades de resistencia de las partículas de neumático triturado, deben realizarse pruebas de laboratorio.
- El método más apropiado para los TDA es la prueba de corte directo ya que no es fácil encontrar aparatos de prueba triaxiales a gran escala.
- Al igual que el suelo, la resistencia al corte de las partículas de caucho aumenta a medida que aumenta la tensión normal.

- En condiciones de carga normal, los TDA desarrollan una cohesión aparente aunque se trata esencialmente de un material de tipo granulado que no puede soportar la tensión de deformación.

Es necesario realizar más estudios con cajas de corte de gran escala para establecer el comportamiento de resistencia al corte de los TDA de tipo B de tamaño grande. Asimismo, debe evaluarse el interfaz de resistencia al corte entre los hilos de neumáticos y hormigón y otros materiales Deberían estudiarse los efectos de la orientación de hilos de neumático en la resistencia al corte para adquirir una mejor comprensión de la resistencia al corte de los TDA.

7.0 Referencias

1. Humphrey, D. N. "Civil Engineering Applications Using Tire Derived Aggregate (TDA)" [aplicaciones de ingeniería civil usando agregado derivado de neumáticos TDA] For California Integrated Waste Management Board, 2003.
2. Ahmed, I., "Laboratory Study on Properties of Rubber Soils" [estudio de laboratorio sobre propiedades de suelos de caucho] Report No. FHWA/IN/JHRP-93/4, Purdue Universit'0y, West Lafayette, In, 1993.
3. Das, B.M. "Principle of Geotechnical Engineering"[principios de ingeniería geotécnica], 6th edition. Thomson Learning, 2006.
4. Das. B.M. "Soil Mechanics Laboratory Manual"[manual de laboratorio de mecánica de suelos], Oxford University Press, 2002.

CIVIL 402 Contratos y Especificaciones de Hormigón Asfáltico Engomado

1.0 Introducción

Este es uno de los dos capítulos del curso Especificaciones por contrato y redacción técnica (CIVIL 402). El foco principal de este capítulo es asfalto engomado de mezcla caliente (RAC, por sus siglas en inglés) y el hormigón asfáltico engomado de mezcla caliente (RHMA, en inglés). Este capítulo cubrirá las especificaciones estándar y las estipulaciones especiales estándar del asfalto engomado de mezcla caliente. También se presentarán las definiciones del asfalto engomado, aglomerante asfáltico engomado, diseño de aglomerante asfáltico engomado, tipo de mezclas y precauciones para el uso de asfalto engomado de mezcla caliente.

Los planos y especificaciones describen como ejecutar un proyecto. Los planos entregan el diseño y las dimensiones del proyecto. Las especificaciones describen los requisitos específicos del proyecto para varias cosas, tales como los materiales, mano de obra y estipulaciones generales y especiales. Los diferentes tipos de especificaciones incluyen: confidenciales, método, control de calidad/aseguramiento de la calidad, resultado final, relacionado con el desempeño (PRS), en función del desempeño (PBS), desempeño (Ej., garantías/avales), diseño/construcción y diseño/construcción/operación. Para especificaciones intuitivas (método, resultado final), la relación con el desempeño se desconoce. Mientras que para las siguientes especificaciones la relación con el desempeño es la más conocida: Especificaciones relativas al desempeño y en función del desempeño.

Método, control de calidad/aseguramiento de la calidad, resultado final y métodos de especificación PRS/PBS están basados en análisis estadísticos. Las especificaciones de marca/producto/proceso/fabricante son confidenciales y difíciles de usar en procesos de licitación competitiva. Las especificaciones de método son descripciones detalladas de materiales y procedimientos que se usan para crear el producto final. Las especificaciones de método son procedimentales y descriptivas que requieren una continua inspección sobre el terreno e históricamente son las especificaciones más usadas. Las especificaciones de control de calidad/aseguramiento de la calidad se usan en 35 estados, y suelen utilizar porque caen entre las especificaciones de método y las de resultado final. Las especificaciones de control de calidad/aseguramiento de calidad se componen de los siguientes elementos: definiciones, materiales, proceso de construcción, equipamiento de construcción, diseño de mezcla, aceptación (lote y sublote, muestreo y pruebas), factores de pago/método de pago y formación, certificación y acreditación.

Las especificaciones de resultado final especifican las propiedades mínimas de los materiales sobre el terreno (por ejemplo, densidad), pero no especifican los métodos de construcción, lo que da libertad y posibilidad de innovar al contratista. Pueden o no incluir especificaciones de material y su popularidad es creciente. Las especificaciones de resultado final basadas en estadística consideran tanto el riesgo de la agencia o propietario y al productor o contratista; ambos requieren control de calidad y aseguramiento de la calidad y por tanto se necesita una tercera parte que se ocupe de la inspección, y su uso es muy común hoy en día.

Las especificaciones relativas al desempeño y en función del desempeño se suelen usar en industrias de fabricación de equipamiento y maquinaria. Se están introduciendo en la construcción y otros sectores industriales. El organismo ocupado de las carreteras Federal Highways Administration (FHWA, por sus siglas en inglés) apoya firmemente el desarrollo de especificaciones relativas al desempeño, tales como HMA-WesTrack y PCC-ERES/Illinois. La FHWA exige especificaciones funcionales para los materiales y las propiedades sobre el terreno. También son necesarios controles de calidad/aseguramiento de la calidad estrictos; además, deben demostrarse relaciones confiables entre las propiedades del material y el desempeño real del pavimento. Los elementos de las especificaciones en función del desempeño "ideal" son métodos de prueba reproducibles, con variabilidad de construcción bien definida, existencia de relaciones sólidas entre las pruebas (propiedades medidas) y el desempeño del pavimento, y un desempeño definible y medible del pavimento. Las especificaciones de desempeño exigen un nivel mínimo de desempeño para un periodo de tiempo determinado, por ejemplo: menos de 5% de agrietamiento por fatiga después de 10 años de servicio, y/o surcos de profundidad menor a 13 mm (1/2 pulgadas) después de 15 años de servicio. También requieren avales para todo el trabajo realizado.

2.0 Asfalto Engomado

De acuerdo a la norma ASTM D8: "el asfalto engomado es una mezcla de cemento asfáltico, caucho de neumático recuperado y algunos aditivos en la que el componente de caucho supone al menos el 15% del peso de la mezcla total y ha reaccionado en el cemento asfáltico caliente lo suficiente para que las partículas de caucho se hinchen". La norma ASTM D 6114 especifica que el aglomerante para asfalto engomado es un material con viscosidad alta (normalmente mezclado sobre el terreno) que típicamente requiere agitación para mantener dispersas las partículas del CRM. En California, los componentes que forman el aglomerante asfáltico engomado son modificadores de caucho triturado compuesto por caucho de neumáticos de desecho y caucho de desecho con un alto contenido de caucho natural y aceite expansor. La Figura 1 muestra la diferencia entre el caucho de neumáticos de desecho y el caucho natural. En términos de porcentajes, las especificaciones para aglomerantes AR de alta viscosidad (mezcla sobre el terreno) del departamento de transportes de California (California Department of Transportation o Caltrans) requiere aceite expansor a por lo menos 1 a 6% por masa de asfalto (para los aglomerantes de sellado, Caltrans puede seguir exigiendo un mínimo de 2,5% de aceite expansor), asfalto más aceite expansor a 78-82% por masa total del aglomerante AR, el CRM total a 18-22% por masa total del aglomerante AR, del cual: CRM de neumáticos de desecho = 73-77% del CRM total, CRM con alto porcentaje natural = 23-27% del CRM total. El modificador de caucho triturado (CRM por sus siglas en inglés) se produce al rallar totalmente los neumáticos de desecho, hilos de pulido y otros productos de caucho usados. El CRM viene en una variedad de gradaciones y denominaciones de tamaño de varios proveedores y/u otras fuentes. La gradación y contenido del CRM afectan no solamente a las propiedades del aglomerante AR, sino que también influye en la estructura de vacío de las mezclas de RHMA-G. Los límites de gradación usados por Caltrans y ADOT son amplios y admiten bastante variación; se está evaluando hacer cambios en los límites de gradación. Las estipulaciones específicas del proyecto también deberían verificar todos los límites de gradación de CRM en efecto para ese proyecto.

Figura 1. Diferencia Entre Neumático de Desecho y Caucho Natural Alto

El CRM de caucho natural alto se usa para mejorar la adhesión y flexibilidad, contención de sellado de agregado de migas y para asegurar la compatibilidad de interacción entre el asfalto y CRM. Tiene un alto contenido de caucho natural (40-48% por masa) y puede producirse a partir de neumático de camiones desechos o de otras fuentes distintas a los neumáticos. Caltrans también exige que se use ese “caucho de alto contenido natural” en aglomerantes para mezclas RHMA.

El cemento asfáltico está disponible en una variedad de grados y denominaciones El AR-4000 se ha utilizado para hacer asfalto engomado tradicional en el pasado. Caltrans adoptó en 2006 el sistema de desempeño por gradación (Performance Graded o PG, en inglés), pero no recomienda usar asfaltos modificados como el cemento asfáltico para la modificación con CRM. Para zonas de montañosas y desiertas, se recomienda usar PG 58-22 como asfalto de base Para otras zonas (costera, valles interiores, montañas bajas y al sur, y desierto) se sugiere el uso de PG 64-16 como asfalto de base. Algunos aditivos del asfalto engomado incluyen aceites expansores que ayudan a la interacción del caucho triturado y el asfalto entregando aromas que son absorbidos por el caucho, y contribuyen a la dispersión al suspender químicamente el caucho en el asfalto. Caltrans exige el uso de aceites expansores. Los agentes promotores de la adhesión se usan para mejorar la adhesión del aglomerante al agregado.

El diseño de la mezcla de asfalto con caucho requiere presentar la siguiente información: proveedor e identificación (o tipo) del neumático de desecho y el CRM natural alto, granulometría típica de cada tipo de material CRM usado en el diseño de aglomerante para caucho asfáltico y el porcentaje de neumático de desecho y CRM natural alto por la masa total de la mezcla de asfalto y caucho. Si el CRM procede de más de un proveedor, se requerirá información de cada proveedor CRM usado, incluyendo los resultados de las pruebas de laboratorio para los parámetros de prueba definidos en las estipulaciones especiales. Otro información del diseño de mezcla asfáltica engomado incluye:

- grado, proveedor y certificado de cumplimiento (Certificate of Compliance of COC, en inglés) del aglomerante PG con base asfáltica
- Porcentaje de la mezcla combinada asfáltica y modificador asfáltica por la masa total de aglomerante asfáltico engomado

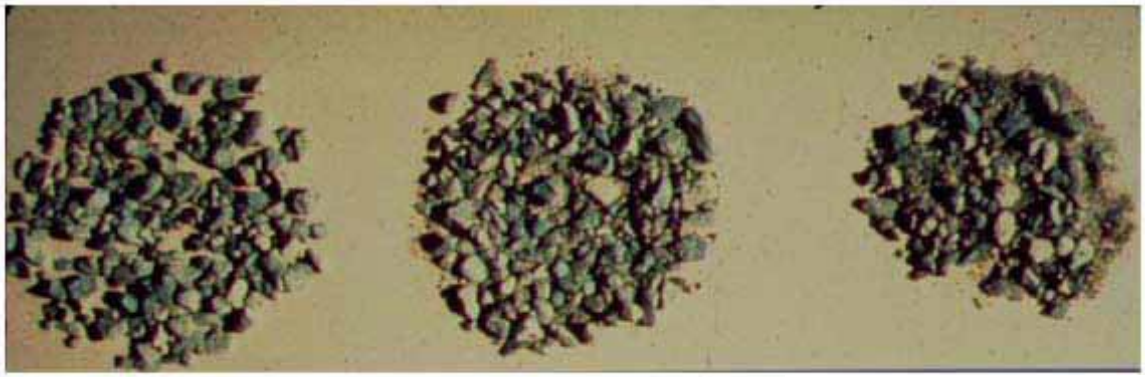
- tipo, proveedor, identificación y resultados de pruebas para el modificador asfáltico que demuestren el cumplimiento de las especificaciones
- porcentaje de modificador asfáltico por masa asfáltica, perfil de diseño, tiempo y temperatura de interacción mínima, y las hojas de seguridad de los materiales para todos los materiales usados

En la Figura 1 se muestra un perfil de diseño para mezcla asfáltica engomada desarrollado para evaluar la compatibilidad de los materiales usados, el cumplimiento de las propiedades de interacción de los componentes, y para verificar la estabilidad de la mezcla AR en el tiempo. Se requiere un perfil de diseño de 24 horas para cada proyecto, y para aplicaciones tanto de mezcla caliente como de rociador. Los anteriores diseños de mezcla AR pueden ser validados para materiales disponibles actualmente y pueden enviarse para múltiples proyectos.

Hay cuatro tipos de mezcla caliente de hormigón asfáltico engomado; granulometría densa (uso limitado por Caltrans), granulometría discontinua, abierta y abierta especial (aglomerante alto, HB). La Figura 2 muestra las diferentes gradaciones usadas en las mezclas de RHMA.

Tabla 1: Ejemplo de Perfil de Diseño para Mezcla Asfáltica Engomada

	Tiempo de Reacción (Minutos)					Limites de Especificaciones @ 45 Minutos (Caltrans 12/2005)
PRUEBA	45	90	240	360	1,440	
Viscosidad, cP Haake@ 190°C	2400	2800	2800	2800	2100	15000 – 4000
Resiliencia @ 25°C (% de rebote) (ASTM D5329)	27	--	33	--	23	18 Mínimo
Punto de Ablandamiento de R y B, °C (ASTM D36)	59.0	59.5	59.5	60.0	58.5	52 – 74 (125-165ºF)
Lápiz de Proyección @ 25C (ASTM D217)	39	--	46	--	50	25 – 70



Granulometría Abierta Granulometría Discontinua Granulometría Densa

Figura 2: Diferentes agregados utilizados en las mezclas de RHMA.

3.0 Ejemplo de Tipos de RHMA Usados por Caltrans

Las mezclas de granulometría densa (RHMA-D) que al principio usaba Caltrans mostraron mejoras de desempeño variables en relación a su coste, en gran parte porque tenía un espacio de vacío inadecuado para acomodar el aglomerante AR. Caltrans descontinuó esta utilización con aglomerantes de alta viscosidad (mezcla sobre el terreno); pero sí pueden ser apropiados para el uso con aglomerantes modificados con CRM (mezcla terminal) como el aglomerante engomado (MB).

La mezcla de granulometría abierta (RHMA-G) es el tipo de RHMA más usado. La mezcla de granulometría discontinua proporciona mayor resistencia al surcamiento, fatiga, agrietamiento por reflexión y obsolescencia por oxidación. Las estipulaciones especiales estándar (Standard Special Provisions o SSP, en inglés) para RHMA-G con aglomerantes AR de alta viscosidad (mezcla sobre el terreno) están en proceso de actualización para incluir la implementación de aglomerante PG. Algunas revisiones incluyen la eliminación de métodos de prueba del cuerpo de SSP; desarrollo de los procesos de laboratorio correspondientes CT para el análisis de tamiz del CRM y la medición de la viscosidad giratoria del aglomerante AR, y dar forma a los SSP para su inclusión en la sección 39 de especificaciones estándar de Caltrans. Las modificaciones realizadas al método de diseño de mezcla Hveem (CT 367), incluyen: modificar (b) los requisitos de gradación del agregado, especialmente para un tamiz de 600 μm, lo que facilitara lograr el mínimo VMA (18%), añadir un máximo de límite de VMA del 23%; y probar tres briquetas con cada contenido de aglomerante y usar los valores medios para cálculos y planos. Otro ajuste al método de diseño de mezcla Hveem es la determinación del contenido de vacíos de aire para que vayan desde el 3% al 5% dependiendo del índice de tráfico y clima, según lo decidido por el ingeniero para las estipulaciones especiales del proyecto. También el método de diseño de mezcla Hveem sigue requiriendo un contenido mínimo de aglomerante AR del 0,7% por peso de agregado seco para proporcionar durabilidad (debe tener suficiente contenido de aglomerado para entregar los beneficios de desempeño esperados). El método de diseño de mezcla Hveem requiere el uso de los procedimientos de laboratorios LP-1 a LP-4 de Caltrans para cálculos volumétricos, informar vacíos rellenos con asfalto (VFA) y la proporción de polvo únicamente con fines informativos; también se debe calcular el peso unitario medio, la

estabilidad, el porcentaje de vacíos de aire, VMA y VFA en comparación con el contenido de aglomerante del asfalto engomado.

Las especificaciones estándar para RHMA-O (de granulometría abierta) y RHMA-O-HB (de granulometría abierta con contenido alto de aglomerante) también fueron actualizadas para incorporar la implementación del aglomerante PG. Los cambios son similares a los de RHMA-G, pero con menos impacto en los métodos de diseño de mezcla.Se ha descubierto que los efectos de la gradación y contenido del CRM en el aglomerante tienen relativamente poco impacto en la estructura de vacíos de las mezclas de granulometría abierta. Los RHMA-O han sido diseñados para proporcionar una superficie de drenaje libre (menos salpicaduras/rociado e hidrodeslizamiento) al tiempo que mantiene buenas características de fricción en condiciones secas o húmedas. Esas mezclas no se consideran elementos estructurales por lo que no se aplica una reducción de espesor. Los RHMA-O se suelen colocar en levantamientos finos, con un espesor nominal de 24 a 30 mm. No se deben usar mezclas de granulometría abierta donde haya una cantidad de tráfico constante o vehículos que doblan, tales como carreteras urbanas o en aparcamientos. Estos pavimentos de módulo poroso bajo son susceptibles a sufrir rasguños de neumáticos por movimientos de frenado y girado, y a dañarse por los fluidos que se filtran de los vehículos. Caltrans no usa RHMA-O en zonas con nieve. El diseño de mezcla RHMA-O se realiza en conformidad con la prueba 368 de California, y el contenido de aglomerante para asfalto engomado se ha fijado a 1,4 veces el contenido de alquitrán óptimo para el grado de aglomerante PG designado. Se usa una prueba de comprobación para verificar que el drenaje descendente del aglomerante no sea excesivo. Si se anticipan desplazamientos largos, se debería comprobar el drenaje descendente en el laboratorio para conocer el tiempo de desplazamiento esperable. Las mezclas de RHMA-O-HB tienen mayor contenido de aglomerante (1,6 veces la necesaria para el asfalto PG en vez de 1,4). El aglomerante HP ofrece pista de fricción mejorada, durabilidad y desempeño debido a las películas de aglomerante AR más espesas. La comprobación de drenaje descendente es más importante en mezclas con más aglomerante. El RHMA-O-HB no drena tan libremente como RHMA-O debido al mayor contenido de aglomerante, pero posee más drenaje libre que DGAC. Los beneficios de usar mezclas RHMA-O y RHMA-O-HB es que proporcionan un desplazamiento más suave y reduce significativamente el ruido producido por los neumáticos. Se están realizando estudios conjuntos de Caltrans/ADOT/FHWA para medir y documentar los cambios en la reducción de ruido en un periodo de 10 años.

El lenguaje estándar usado en contratos de construcción para modificar, complementar e incorporar las especificaciones estándar de Caltrans son las Estipulaciones especiales estándar (SSP). Las estipulaciones especiales estándar están continuamente en proceso de creación y actualización para reflejar nuevos conocimientos de los materiales, destrezas y nuevos productos o procedimientos. Las SSP para las mezclas RHMA-O se compone de las siguientes secciones:

1) Generales

2) Materiales

3) Diseño de mezcla y proporciones

4) Revisión del diseño de mezcla RHMA

5) Control de calidad del contratista, muestreo y pruebas de contratistas

6) Equipo para producción de aglomerante para asfalto engomado

7) Proporciones del aglomerante, agregados

8) Expansión y compactación

9) Medición y pago

Deben tomarse algunas precauciones al usar las mezclas RHMA por lo que las especificaciones y métodos de diseño de mezclas discutidas en esta presentación deberían aplicarse al uso de aglomerante de alta viscosidad para asfalto engomado (mezcla sobre el terreno) en mezclas de granulometría discontinua y abierta RHMA. Los aglomerantes por agitación (baja viscosidad, mezcla terminal) nunca se deben sustituir directamente por aglomerantes de alta viscosidad en ninguna mezcla RHMA. Los dos tipos distintos de aglomerantes modificados CRM tienen rangos de viscosidad distintos y se comportan de forma muy diferente en las mezclas calientes de hormigón asfáltico.

4.0 Conclusiones

Este módulo didáctico introduce los diferentes tipos de hormigón asfáltico engomado de mezcla caliente, incluyendo RHMA-G, RHMA-O y RHMA-O-HB. Se han introducido diferentes especificaciones entre las que se incluyen: especificación del método, especificación basada en desempeño y especificación de control de calidad/aseguramiento de calidad basada en estadística. Como ejemplo, se presentaron las especificaciones estándar de Caltrans para el asfalto engomado de mezcla caliente.

5.0 Referencias

1. Caltrans Standard Specification, 2008 (especificaciones estándar de Caltrans)
2. Caltrans Asphalt Rubber Design Guide, 2003 (guía de diseño del asfalto engomado de Caltrans)

CIVIL 402 ***Contratos y Especificaciones de*** Normas ASTM

1.0 Introducción

1.1 Trasfondo

Este es el primer capítulo del curso Especificaciones de contrato y redacción técnica (CIVIL 402). El segundo capítulo de especificaciones de contrato y redacción de informes técnicos se presentará más adelante como un capítulo separado dedicado al asfalto engomado y el hormigón asfáltico engomado. El foco principal de este capítulo son las normas internacionales ASTM, las cuales son útiles para desarrollar aplicaciones de ingeniería civil para neumáticos de desecho. Este capítulo cubre la historia de las normas ASTM, para qué se usan y algunas normas específicas relativas a los productos de neumáticos desechables, en particular la norma ASTM 6270 (re-aprobadas en 2004) "Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications" (práctica estándar para el uso de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniero civil).

Las normas ofrecen medios necesarios para determinar la uniformidad para productos individuales separados. Estas normas voluntarias son especificaciones estándar elaboradas por asociaciones sin fines de lucro, agencias de gobierno y grupos de fabricantes. Esto permite a los usuarios (Ej., ingenieros y contratistas) hacer referencia a datos publicados sobre cada uno de esos productos con la garantía de que los fabricantes cumplen los estándares establecidos. Estas normas se convierten en parte del contrato de construcción sólo si se mencionan en los planes y especificaciones. Los planes y especificaciones describen como ejecutar un proyecto. Los planos entregan el diseño y las dimensiones del proyecto. Las especificaciones describen los requisitos específicos del proyecto para varias cosas, como los materiales, mano de obra y estipulaciones generales y especiales.

1.2 Objetivos

El objetivo de este capítulo es presentar a los estudiantes las normas ASTM International relacionadas con el uso de productos de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil. Los temas abordados incluyen quien produce las normas, para que se usen, como se organizan y qué normas ASTM son pertinentes al uso de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil.

1.3 Historia

Un grupo de científicos e ingenieros, dirigidos por Charles Benjamin Dudley formaron la American Society for Testing and Materials en el año 1898 para abordar el problema de las frecuentes roturas de rieles en la creciente industria del ferrocarril. La ASTM es una organización sin ánimo de lucro que supone un foro para el desarrollo y publicación de normas de consenso voluntarias para materiales, productos, sistemas y servicios. Conocidas originalmente como American Society for Testing and Materials, ahora reciben el nombre de ASTM International. La sede de la organización se encuentra en West Conshohocken, Pennsylvania (EEUU), localidad situada a unas 5 millas al noroeste de Philadelphia En su sitio Web hay un archivo pdf descargable con la historia completa de ASTM International (http://www.astm.org/HISTORY/index.html).

La ASTM International es actualmente una de las organizaciones elaboradoras de estándares voluntarios más grandes del mundo. Los miembros de la ASTM representan a fabricantes, usuarios, consumidores, gobierno y académicos de más de 100 países, los cuales elaboran documentos técnicos que constituyen la base para fabricación, gestión, adquisición, códigos y reglamentos. Los comités han elaborado de forma conjunta más de 12.000 normas ASTM que pueden encontrarse en el libro anual de normas ASTM de 77 volúmenes. Las normas ASTM se organizan en quince secciones distintas:

1. Productos de Acero y Hierro
2. Productos Metálicos sin Hierro
3. Métodos de Prueba para Metales y Procedimientos Analíticos
4. Construcción
5. Productos Derivados del Petróleo, Lubricantes y Combustibles Fósiles
6. Pinturas, Revestimientos Asociados y Aromáticos
7. Textiles
8. Plásticos
9. Caucho
10. Aislante Eléctricos y Electrónicos
11. Tecnología Medioambiental y de Aguas
12. Energía Nuclear, Solar y Geotérmica
13. Dispositivos y Servicios Médicos
14. Métodos y Instrumentos Generales
15. Productos Generales, Especialidades Químicas y Productos de uso Final

Especialmente interesantes para este capítulo son las secciones 4 de Construcción y 9 de caucho (en cursiva arriba) ya que contienen normas que se aplican al uso de productos de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil. La sección 4 sobre Construcción se compone de las siguientes sub-secciones (entre otras):

- Volumen 04.01: Cemento, Cal; Yeso
- Volumen 04.02: Hormigón y Agregados
- Volumen 04.03: Materiales para Carreteras y Pavimentación; Sistemas de Pavimentación con Vehículos
- Volumen 04.04: Techado e Impermeabilización
- Volumen 04.05 – Techado, Impermeabilización y Materiales Bituminosos
- Volumen 04.06: Aislamiento Térmico; Acústica Medioambiental
- Volumen 04.07: Fabricación de Sellos y Sellantes; Normas para Incendios; Piedra de Dimensión
- Volumen 04.08: Suelo y Roca (I): D 420 a D 5779
- Volumen 04.09: Suelo y Roca (II): D 5780: último; Geosintética
- Volumen 04.10 ; Madera
- Volumen 04.11: Construcción de Edificios
- Volumen 04.12: Construcción de Edificios (II) E 1672 más reciente; Sistema de Gestión de Inmuebles

Los volúmenes 04.08 y 04.09 contienen normas relativas a la construcción que son útiles para determinar las propiedades de los productos de neumáticos de desecho y su uso en aplicaciones de ingeniería civil. El Volumen 9 tiene las siguientes subsecciones relacionadas con este tema:

- Volumen 09.01: Caucho, Natural y Sintético- Métodos Generales de Prueba; Carbón Negro
- Volumen 09.02: Productos de Caucho, Industrial: Especificaciones y Métodos de Prueba Relacionados Empaques; Neumáticos

2.0 Normas ASTM

Muchas organizaciones producen estándares para una variedad de productos. Entre estos se incluyen organizaciones sin ánimo de lucro, agencias gubernamentales y grupos de fabricantes. La más reconocida de todas las normas estadounidenses es American Society for Testing and Materials (ASTM) International. ASTM International cubre especificaciones de material, requisitos de prueba de materiales, y en algunos casos estándares de desempeño. Aunque la ASTM International no tiene ninguna autoridad para exigir o hacer cumplir sus normas, estas son necesarias para asegurar que los productos cumplan unos requisitos mínimos de desempeño. Estas normas pueden pasar a ser de cumplimiento obligatorio cuando se hace referencia a ellas en un contrato externo, de una empresa u organismos del gobierno Otros gobiernos (a nivel local y mundial) también hacen referencia a las normas ASTM es sus especificaciones y códigos. Las grandes empresas que hacen negocios a nivel internacional pueden decidir hacer referencia a las normas ASTM para sus productos y proyectos.

La membresía en la organización está abierta a todas las personas que tengan interés en sus actividades. Las normas se elaboran dentro de comités y se forman nuevos comités a medida que se necesita, a solicitud de los miembros interesados. La pertenencia a la mayoría de comités es voluntaria y se inicia previa petición del miembro, no por nombramiento o invitación. Los miembros se clasifican en usuarios productores, consumidores y “de interés general". En este último grupo se incluyen académicos y asesores. Los usuarios pueden incluir usuarios industriales que pueden ser productores en el contexto de otros comités técnicos y usuarios finales como consumidores. Para cumplir las exigencias de las leyes antimonopolio, los productores deben representar menos del 50% de cada comité o sub-comité y la votación está limitada a un voto por empresa productora. Debido a estas restricciones, hay una lista de espera importante de productores que pretenden conseguir la membresía organizacional en los comités más populares. Sin embargo, los miembros pueden participar aunque no tengan derecho formal a voto y sus aportes serán considerados. Desde 2007, hay más de 30.000 miembros, incluyendo más de 1100 organizaciones de más de 120 países.

2.1 Listas

Las listas de la ASTM se caracterizan por denominaciones como ASTM D 6270-98 (re-aprobada en 2004), “Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications” (práctica estándar para el uso de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil). El prefijo “D” indica que la norma se refiere a materiales de categoría D, materiales misceláneos. Actualmente la ASTM usan las siguientes categorías de material:

A	Metales ferrosos
B	Metales no ferroso
C	Materiales de cemento, cerámica, hormigón y albañilería
D	Materiales misceláneos
E	Temas misceláneos
F	Materiales para aplicaciones específicas
G	Corrosión, deterioro y degradación de materiales
ES	Estándares de emergencia

El número “98” se refiere al año en que se aprobó la edición de la norma, en este caso fue re-aprobada en 2004.

2.2 Documentos Relacionados con los Neumáticos

La norma ASTM D 6270-8 se divide en diferentes partes que se presentan en orden lógico. La Parte 1 de la norma cubre el “alcance” de la misma:

“1.1 Esta práctica ofrece orientación para someter a prueba las propiedades físicas y entrega datos para la evaluación de la posible generación de lixiviado de los neumáticos de desecho enteros o procesados en lugar de los materiales de ingeniería civil convencionales, tales como la piedra, gravilla, suelos, arena u otros materiales de relleno. Además, se resumen las prácticas de construcción típicas.”

La parte 2 cubre los “Documentos de referencia” que enumeran otras normas ASTM utilizados para la clasificación de productos de neumáticos de desecho, además de las normas AASHTO y USEPA. La parte 3 presenta una lista de definiciones y terminología relativa a los productos de neumáticos de desecho. La parte 4 cubre “Importancia y uso”. Esta norma particular cubre el uso de los siguientes productos de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil:

- migas de neumático o hilos de neumático compuestos por piezas de neumáticos de desecho
- mezcla de migas de neumático/suelos
- paredes laterales de neumáticos
- neumáticos de desecho enteros

Cubre el uso de los dos primeros productos derivados de neumático mencionados arriba que se usan en las siguientes aplicaciones de ingeniería civil:

- Relleno ligero para cementación
- relleno ligero posterior para muros de contención
- capas de drenaje
- capa de aislamiento térmico para limitar la penetración de escarcha debajo de las carreteras
- relleno aislante para limitar la pérdida de calor de los edificios
- reemplazo de tierra o roca en otras aplicaciones de relleno

A continuación dice: “el uso de neumáticos de desecho enteros y paredes de neumático incluye la construcción de muros de contención y conductos de drenaje así como relleno cuando los neumáticos enteros se ha compactado en fardos. La responsabilidad del ingeniero de diseño es determinar la idoneidad de uso de los neumáticos de desecho para una aplicación específica y seleccionar las pruebas y especificaciones aplicables para facilitar la construcción y la protección medioambiental. Esta práctica pretende fomentar una utilización más extendida de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil. Las figuras 1 y 2 muestran las aplicaciones de neumáticos enteros como conductos y muros de contención respectivamente.

Figura 1 - Paredes laterales de neumático unidas para formar un conducto

Figura 2 - Muro de contención construido con neumáticos de desecho enteros que soportan un cubierta exterior residencial

2.3 Caracterización de Materiales

La parte 5 de ASTM D 6270-98 de "Caracterización de materiales" cubre las propiedades de los productos de neumáticos de desecho que son interesantes para las aplicaciones en ingeniería civil. Estas propiedades materiales junto con los otros estándares mencionados se indican a continuación:

> 5.1 Gravedad específica y capacidad de absorción, a determinarse siguiendo el método de prueba C127 de la ASTM. Sin embargo, debido a que la gravedad específica de los hilos de neumático es menos de la mitad que la de los materiales

comunes, permiten usar un peso mínimo de los especímenes de prueba que es la mitad del valor específico.

5.2 La gradación de los hilos de neumático se determinará siguiendo el método de prueba D 422 de ASTM con la mitad de los requisitos de peso de la muestra como se mencionó arriba.

5.3 La densidad de comparación seca en laboratorio, o la densidad bruta de las migas de neumático o mezclas de migas de neumático/suelos con menos del 30% de contención en un tamiz de 19,0 mm será determinada usando el método de prueba D698 o D 1557. El diámetro de molde mínimo como una función del tamaño de hilo de neumático se dispone en tablas, al igual que otras modificaciones permitidas a los procedimientos de prueba estándar.

5.4 La comprimibilidad de las migas de neumático y las mezclas de migas de neumático/suelo debe medir en un cilindro rígido que tenga un diámetro varias veces mayor al tamaño más grande de partícula. El cilindro puede servir de instrumento para medir la tensión horizontal que los hilos de neumático ejercen sobre la pared para determinar el coeficiente en reposo de la presión lateral del terreno, Ko, Debido a la alta comprimibilidad de los hilos de neumático, la relación del espesor de espécimen inicial al diámetro de la muestra debe ser mayor a uno. Asimismo, la tensión en la parte superior e inferior de la muestra debe medirse con la media de los dos, usado como la tensión vertical para considerar la fricción entre los hilos de neumático y la pared del cilindro. Se debería lubricar la pared del cilindro para minimizar la fricción. Se diseñó un aparato de prueba como el que se muestra abajo para determinar la comprimibilidad de los hilos de neumático.

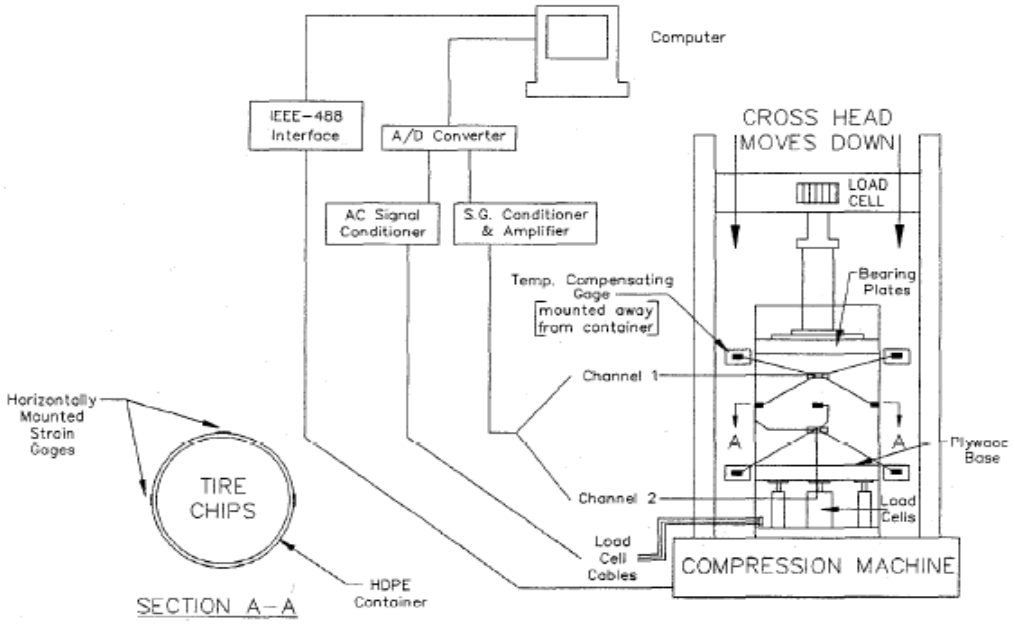


FIG. 1 Aparato de comprimibilidad para los hilos de neumático diseñado para medir la presión lateral y la proporción de carga vertical traspasada por fricción desde los hilos de neumático al contenedor (8)

Figura 3. Medición de Comprimibilidad y Aparato de Monitoreo de la Tensión

5.5 El módulo de elasticidad (MR) debe determinarse cumpliendo la norma AASHTO T 274 en los tamaños de partículas menores a 19 mm.

5.6 El coeficiente de presión lateral del terreno en reposo (Ko) y el índice de Poisson, ¿, se calcula con el aparato de prueba que aparece en la Figura 3 arriba.

5.7 La resistencia al corte de los hilos de neumático pueden determinarse con pruebas de corte directo de acuerdo al método de prueba D 3080 de ASTM o usando una prueba de corte triaxial. El tamaño grande de los hilos de neumático imposibilita la prueba triaxial debido a limitaciones de tamaño, y la presencia de bandas de acero expuestas que pueden perforar la membrana que rodea la muestra. Es más práctico construir cajas de corte a gran escala para acomodar las partículas de gran tamaño.

5.8 La conductividad hidráulica (permeabilidad) de las migas de neumático y las mezclas de migas/suelo debería medirse con un permeámetro de cabezal constante con un diámetro varias veces el tamaño máximo de partículas. Para un tamaño máximo de partícula de19 mm, se puede usar el método de prueba D 2434 de ASTM y para tamaños de partícula más grande se puede empelar el aparato que se muestra en la figura 4.

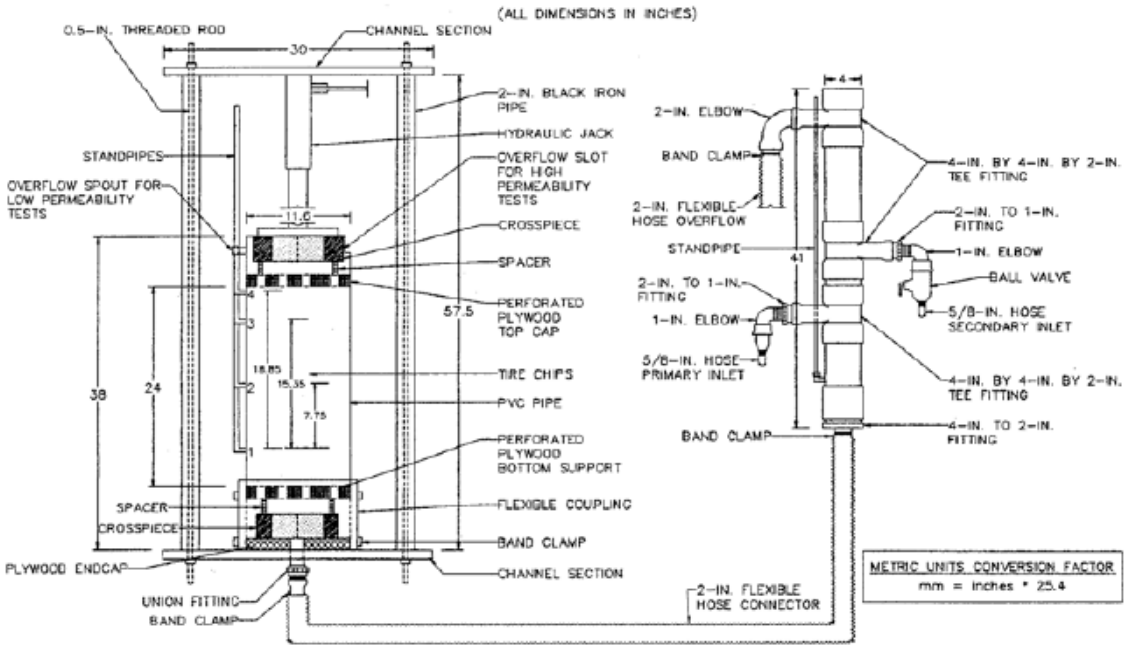


FIG. 2: Aparato de Conductividad Hidráulica para los Hilos de Neumático con Indicaciones para la Aplicación de la Tensión Vertical (10)

Figura 4.Medición de la Conductividad Hidráulica de TDA

5.9 La conductividad térmica de los hilos de neumático se puede determinar usando aparatos con placa caliente protegida disponibles en el comercio o diseñados a medida.

2.4 Construcción

La parte 6 de la norma ASTM D 6270-98 cubre “Prácticas de construcción” que se podrían resumir de la siguiente manera:

6.1 Los hilos de neumático tienen 1/3 a ½ de la densidad en seco de un suelo típico Esto los hace útiles para relleno ligero de cementación sobre suelos débiles comprimibles donde la estabilidad de la pendiente y/o el excesivo asentamiento suponen una preocupación.

6.2 Los hilos de neumático tienen una resistencia térmica ocho veces mayor a la del suelo normal. Sus aplicaciones útiles incluyen limitar la profundidad de penetración de la escarcha bajo las carreteras y como relleno posterior para paredes de cimiento para reducir la perdida de calor.

6.3 Las presiones laterales del terreno reducidas al 50% comparado con el relleno de tierra combinado con densidad seca de baja compactación, alta permeabilidad y baja conductividad térmica, convierten a los hilos de neumático en un material de relleno posterior atractivo para los muros de contención.

6.4 La alta conductividad hidráulica hace que los hilos de neumático sean apropiados para aplicaciones de drenaje, incluyendo drenaje francés, campos de lixiviado para sistemas sépticos y aplicaciones de relleno interior como capas de drenaje y sistemas de cobertura.

6.5 Cubre los dos tipos de tamaño que se usan normalmente (Tipo A: <3 pulgada, Tipo B: <12 pulgadas) y otros requerimientos de desmenuzado como que el hilo mas grande debe tener forma de cuarto circular y una pared lateral cortada desde el hilo.

6.6 Los hilos de neumático grande deben compactarse con un buldózer de oruga, una apisonadora sheepfoot y un rodillo de tambor vibratorio suave que tengan un peso mínimo de 10 toneladas en levantamientos que no superen las 12 pulgadas para los TDA de tipo A y 3 pies para los TDA tipo B. Es necesario realizar un mínimo de seis pasadas del equipamiento de compactación, según sea necesario. sobre cada punto en el relleno por cada levantamiento.

6.7 Los hilos de neumático deberían cubrirse con un espesor suficiente de tierra para limitar las deflexiones causadas por la carga del tráfico sobre el revestimiento del pavimento. Para cargas de tráfico ligero se puede requerir solamente 3 pies de cobertura mientras que en las zonas de tráfico fuerte pueden necesitar 3 a 7 pies de cobertura. En las aplicaciones sin pavimentar, solamente se requiere 1 a 2 pies.

6.8 En casos donde el pavimento se coloca sobre los hilos de neumático y en aplicaciones de drenaje, los hilos de neumáticos deben envolverse completamente en material geotextil para prevenir la infiltración de partículas de tierra circundante.

6.9 Los neumáticos enteros y las paredes de neumático pueden usarse para muros de contención y como conductos si se unen entre sí.

6.10 Enumera las causas conocidas de calentamiento interno en los rellenos de TDA y recomienda varios requisitos para minimizar esta posibilidad.

Para resumir, la siguientes prácticas de construcción usan las características deseables mencionadas de los productos de neumáticos de desecho (TDA):

- Relleno ligero para cementación: Densidad de compactación en seco baja
- Capa aislante: Resistencia térmica
- Relleno para muro de contención: Densidad de compactación en seco baja, alta conductividad hidráulica, baja conductividad térmica
- Aplicaciones de drenaje: Alta conductividad hidráulica

2.5 Consideraciones Medioambientales

La parte 7 de la norma ASTM D 6270-98 cubre el "lixiviado" lo que hace referencia a las características de toxicidad del procedimiento de lixiviado (TCLP, en inglés) del método 1311 de USEPA. Los resultados de esta prueba indican que los hilos de neumático no merecen la clasificación como material de desecho peligroso. La Parte 7 también concluye que a falta de otros estudios, los hilos de neumático sólo deberían usarse en aplicaciones situadas sobre la capa freática superficial.

2.6 Fórmulas Estándar

En general, la norma ASTM D 6270-98 usa las formulas de calculo estándar usadas normalmente en ingeniería geotécnica y de transportes como sigue:

Densidad de sólidos de hilos de neumático $\rho_s = S_a(\rho_w)$ (1)

Donde:

S_a = gravedad específica aparente y

P_w = densidad del agua.

Módulo de elasticidad $M_R = A\Theta^B$ (2)

Donde:

Θ = primera constante de tensión (suma de las tres tensiones principales).

A = parámetro determinado mediante experimentación y

B = parámetro determinado mediante experimentación.

Coeficiente de presión lateral del terreno en reposo $K_O = \sigma_h / \sigma_v$ (3)

Índice de Poisson $\mu = K_O / (1 + K_O)$ (4)

Donde:

σv = tensión horizontal medida y

σy = tensión vertical medida.

2.7 Información no obligatoria

El anexo de la norma ASTM D 6270-98 incluye lo que se denomina "Información no obligatoria" lo que incluye propiedades de materiales típicos, resultados de estudios sobre el terreno en el medioambiente y estudios de agua potable, así como hojas de seguridad de los materiales para los neumáticos enteros. Finalmente, se citan 30 referencias relacionadas con el uso de hilos de neumático en aplicaciones de ingeniería civil.

Como ejemplo de la información contenida en el anexo de la norma ASTM D 6270-98, se citan a continuación dos gráficos y una tabla. La Figura 5 presenta los resultados de pruebas realizadas con distintos porcentajes de mezclas de migas de neumático con Crosby Till y Ottawa sand usado métodos distintos de compactación.

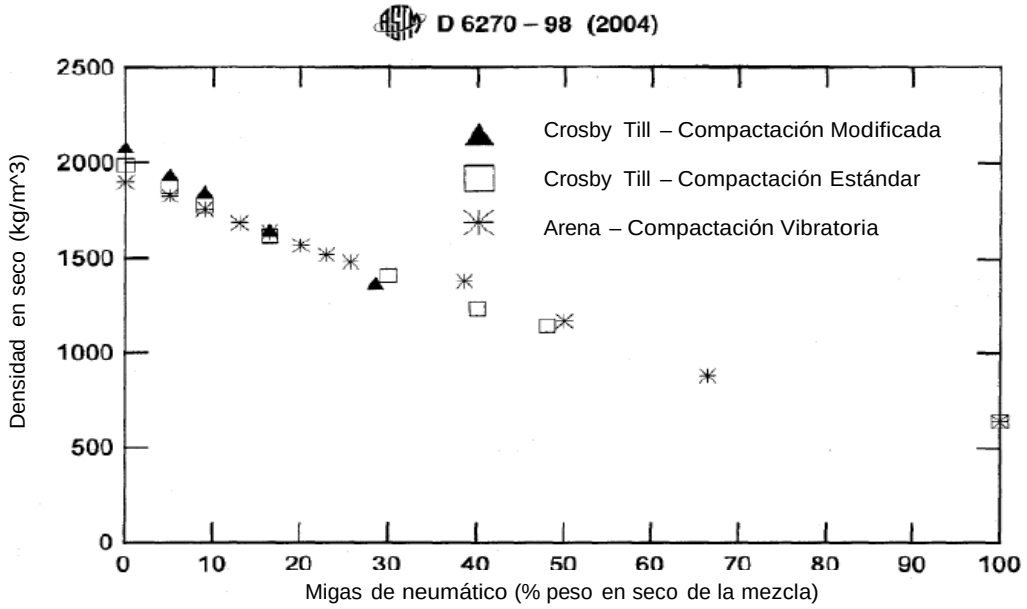


FIG X1.1 Comparación de la densidad en seco compactada de las mezclas con hilos de neumático con Ottawa Sand y Crosby Till (5)

Figura 5. Comparación de la densidad de compactación de los TDA mezclado con arena Crosby Till y Ottawa

La Tabla 1 resume la comprimibilidad de diferentes hilos de neumático en términos de las deformaciones verticales obtenidas en la carga inicial para diferentes tensiones verticales y

variados estados de densidad inicial. ¡La deformación vertical supera por 50% en los materiales de comparación suelta con valores más altos de tensión vertical aplicado!

Tabla . Comprimibilidad bajo diferentes estados iniciales de carga y densidad

TABLA X1.3 Comprimibilidad en Carga Inicial

Rango de tamaño de la partícula (mm)	Tipo de hilo de neumático	Origen de los hilos de neumático	Densidad en seco inicial (kg/m3)	Deformación vertical (%) a la tensión vertical indicada (kpa)				
				10	25	50	100	200
2 a 75	Mezclada	Palmer	Compactada	7 a 11	16 a 11	23 a 27	30 a 34	38 a 41
2 a 51	Mezclada	Pine State	Compactada	8 a 14	15 a 20	21 a 26	27 a 32	33 a 37
2 a 25	Vidrio	F & B	Compactada	5 a 10	11 a 16	18 a 22	26 to 28	33 a 35
2 a 51	Mezclada	Sawyer	Compactada	5 a 10	13 a 18	17 a 23	22 a 30	29 a 37
	Mezclada		Compactada	4 a 5	8 a 11	13 a 16	18 a 23	27
75 máx	Mezclada	Pine State	510 a 670	12 a 20	18 a 28	----	----	----
2 a 51	Mezclada	Pine State	Suelto	18	34	41	46	52
2 a 25	Mezclada	F & B	Suelto	8	18	28	37	45
	----		Suelto	9	12 a 17	17 a 24	24 a 31	30 a 38

Las conductividades hidráulicas de los hilos de neumático con distintos porcentajes de arena a diferentes tensiones verticales aplicadas se muestran en la Figura 6. Es interesante destacar el efecto disminuidor de la mayor tensión vertical sobre la conductividad hidráulica.

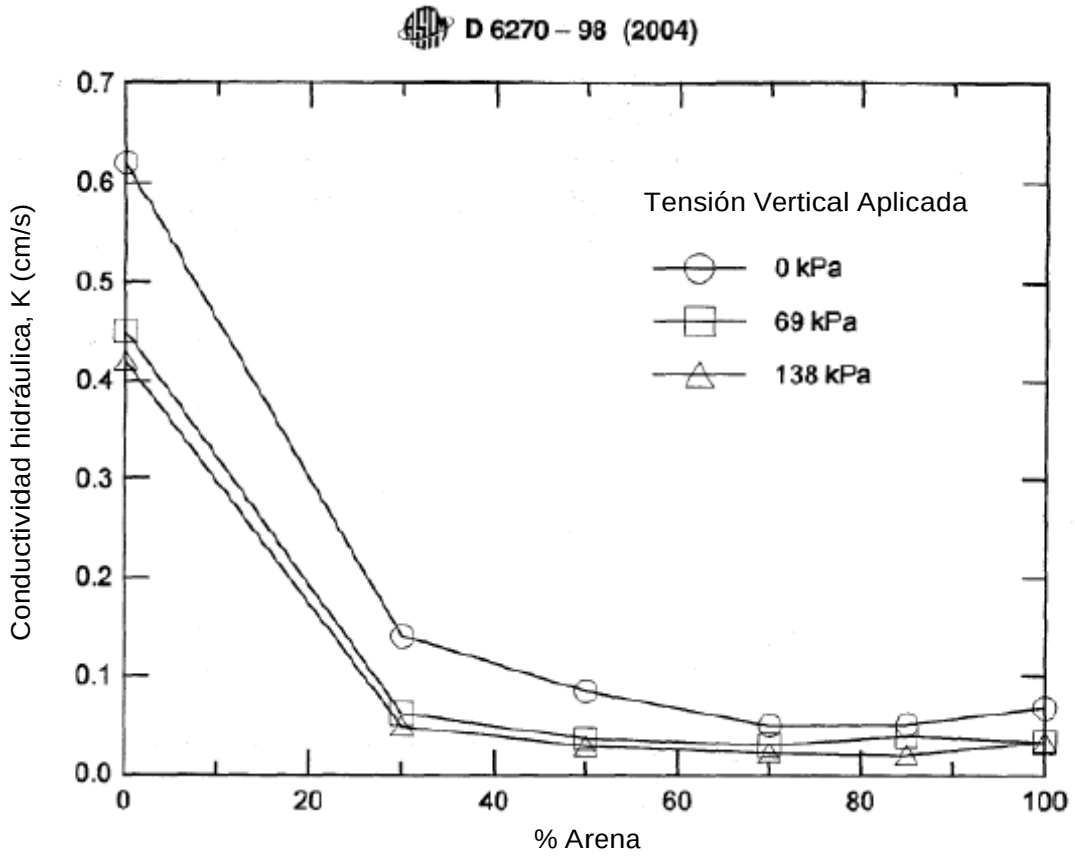


Figura X1.4 Conductividades Hidráulicas de Mezclas de Hilos de Neumático y Limpiar Sand (4)

Figura 6. Reducción de la Conductividad Hidráulica de los Hilos de Neumático con Porcentajes de Presión y Arena

3.0 Ejemplo (o estudio de caso)

La aplicación de la norma ASTM D 6270-98 en la construcción del relleno de cementación se discutirá a continuación. El desmenuzado de neumáticos de chatarra produce hilos de caucho cuyo tamaño va desde hilos grandes hasta migas Tanto los hilos como las migas de neumático se han usado como material de relleno ligero para cementación de carreteras y relleno posterior detrás de muros de contención Los hilos o migas pueden usarse por sí solos o mezclarse con tierra. El tamaño de los hilos de neumático suelen ir desde 12 pulgadas (TDA tipo B) a 3 pulgadas (TDA tipo A) como se muestra en la figura 7:

Figura 7 Las migas de neumático suelen tener un tamaño máximo de 3 pulgadas hasta un mínimo de ½ pulgadas.

Las cementaciones que contienen hilos o migas de neumáticos se construyen envolviendo totalmente los hilos o migas con un material geotextil y colocando por lo menos 3 pies de tierra natural entre la parte superior de los neumáticos y la carretera como se ilustra en la Figura 8.

Figura 8 Colocación de Agregado Derivado de Neumáticos con Excavadora

Al menos 15 estados han usado hilos o migas de neumáticos desechados como material de relleno ligero para la construcción de cementaciones o relleno posterior (TFHRC, 2004). Algunos proyectos han usado hilos o migas como material para cementación, mientras que otros han mezclado las migas de neumático con tierra. En 2004, se han ejecutado más de 70 proyectos exitosos en carreteras estatales, locales o privadas.

Aparte de los problemas con la perforación del caucho de neumático en los vehículos de larga distancia por el acero expuesto en los hilos o migas de neumático, no han surgido otros problemas relacionados con la construcción en los proyectos de cementación con neumáticos desechados. Una adecuada compactación, que siempre es una preocupación importante en todo proyecto de cementación, tiene aún mayor importancia en un proyecto de cementación con hilos o migas de neumático, donde se sabe que se producirá algún grado de consolidación después de que el relleno se haya completado. Es posible que se produzca agrietamiento en la carretera sobre un cementación con hilos o migas de neumático por la consolidación a largo plazo o a la consolidación diferencial adyacente a los rellenos de TDA. Desde 2004, al menos 15 estados han completado proyectos de cementación con neumáticos desechados; pero sólo seis estados (Carolina del Norte, Oregon, Vermont, Virginia, Wisconsin y Maine) han preparado especificaciones o algunas normas para su uso (TFHRC, 2004).

Un resumen de las características de materiales abordadas en la norma ASTM D 6270-98 incluye:

- Gravedad específica
- Capacidad de absorción de agua
- Gradación
- Densidad de compactación en seco
- Comprimibilidad
- Módulo de elasticidad
- Coeficiente de presión lateral del terreno
- Índice de Poisson
- Resistencia al corte
- Conductividad hidráulica
- Conductividad térmica

Los valores que se pueden usar según la norma ASTM D 6270-98 para relleno de cementaciones incluye:

- Gravedad específica: 1,1 a 1,3
- Peso de la unidad compactada: 20 lb/ft3 a 45 lb/ft3
- Angulo de fricción: 19° a 25°
- Valor de cohesión: 160 lb/ft2 a 240 lb/ft2
- Módulo de Young: 112 lb/in2 a 181 lb/in2
- Permeabilidad: 1.5 a 15 cm/seg

Otra información útil contenida en la norma relacionada con el diseño de mezcla de migas de neumático y tierra para relleno de cementaciones incluye:

- Las migas de neumático pueden combinarse o mezclarse con tierra
- A medida que se incrementa el porcentaje de tierra, el peso unitario de la mezcla aumenta
- La proporción de mezcla se calcula normalmente en base volumétrica
- Se sugiere un máximo de proporción de mezcla de miga a tierra del 50:50 para que el uso de la miga de neumático no se reduzca demasiado

- Si el peso unitario del relleno no es problema, entonces pueden mezclarse porcentajes menores de migas de neumático (10 al 25 por ciento) con el suelo. Esto podría mejorar la compactibilidad del relleno

El terreno del cementación debería preparase en casi la misma forma como si se usara tierra normal como material de relleno. Sin embargo, si el nivel freático alto o área pantanosa en la base del cementación, es aconsejable construir una capa de drenaje. Si hay un flujo natural de fluido en la zona donde se construirá el cementación, deben tomarse medidas para conducir ese fluido bajo el cementación. Cuando se pretende mezclar o combinar los hilos o migas de neumático con tierra, la mezcla debe hacerse de forma volumétrica, usando cargas de cubeta desde una cargadora frontal y mezclando los materiales tan bien como sea posible con la cubeta. Otra opción para la mezcla de migas o hilos de neumático y tierra es crear capas alternadas de migas o hilos de neumático y de tierra. Se requiere un tejido geotextil para separar los materiales de relleno para que las partículas finas no se filtren al relleno de TDA.

En términos de la colocación de un relleno TDA, las migas de neumático deberían expandirse sobre una cubierta geotextil usando un buldózer tipo oruga con una capa o levantamiento con espesor mínimo de 2 pies como se muestra en la Figura 9. El máximo espesor recomendado de 3 pies para un levantamiento puede expandirse y compactarse con un equipo de compactación estándar.

Figura 9. Descarga, extensión y compactación del relleno TDA con un buldózer.

La compactación puede hacerse con por lo menos tres pasadas de la excavadora de oruga sobre la capa de migas de neumático. Las partículas se alinean unas con otras y se consolidan bastante rápido. El peso de la excavadora que pasa sobre las migas de neumático es suficiente para compactar fácilmente la capa de migas. Para migas más grandes o capas de mayor espesor, pueden ser necesarias hasta 15 pasadas de la excavadora para lograr la misma compactación. La capa superior de un cementación de migas de neumático debe estar situada por lo menos 3 pies por debajo de la capa base o

subsuelo del pavimento que irá sobre el cementación. Cada capa de cementación de miga de neumático debe comprimirse completamente antes de colocar la siguiente capa. Cuando se ha compactado completamente la capa superior de migas de neumático, la parte lateral y superior de las migas de neumático debe envolverse y aislarse con un tejido geotextil. Debe colocarse un mínimo de 3 pies de tierra compactada sobre el material geotextil y las migas de neumático. La tierra debería compactarse en capas más finas, de entre 6 a 12 pulgadas de espesor. El cementación con migas de neumático sufrirá una deflexión adicional durante el emplazamiento y compactación de la cubierta de tierra, lo que requiere más material de relleno.

Aunque se han construido con éxito varios proyectos usando TDA como relleno de cementación, todavía hay algunos problemas sin resolver. El problema principal y más importante es determinar la causa o causas de las reacciones exotérmicas que ocasionaron tres incendios de cementación con neumáticos de desecho durante 1996. Otros proyectos de cementación con neumático triturado o migas de neumático, especialmente los rellenos gruesos, incluyendo aquellos que ardieron en llamas, deberían ser monitoreados de cerca, posiblemente mediante la instalación de sondas de temperatura y pozos de muestreo de gas. También debería medirse el ph de todo lixiviado acuático de un relleno con neumáticos desechados. También deberían realizarse investigaciones de laboratorio bajo distintas condiciones y temperaturas para identificar bajo que condiciones pueden iniciarse estas reacciones exotérmicas (o que lleva a la ignición de los desechos de neumático).

Hay otras normas ASTM relativas al uso de productos de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil, algunas de ellas incluyen:

- ASTM D422: Análisis del tamaño de partículas de suelos
- ASTM D575: Métodos de prueba de las propiedades de compactación del caucho
- ASTM D698: Métodos de prueba para compactación, características del suelo usando esfuerzo estándar
- ASTM D5084: Medición de la conductividad hidráulica de materiales porosos saturados usando un permeámetro de pared flexible
- ASTM D3080: Prueba de corte directo en suelos en condiciones de drenaje consolidado

La siguiente es la determinación cuantitativa de qué método de prueba será usado para calcular la distribución de tamaños de partículas en suelos según ASTM D422, análisis de suelos por tamaño de partículas:

- La distribución de las partículas superiores a 74 μm se determina mediante tamizado

- La distribución de partículas de tamaño inferior a 75 μm se determina por un proceso de sedimentación, usando un hidrómetro para asegurar los datos necesarios.

La norma ASTM D575 cubre “Métodos de prueba para propiedades del caucho en la compactación” con dos métodos de prueba que son útiles para comparar la rigidez de los materiales de caucho bajo compactación. Esta norma puede usarla técnicos especializados en caucho para ayudar a desarrollar materiales para aplicaciones comprimidas. Los dos métodos de prueba son:

- Prueba de compactación de deflexión específica: Se determina la fuerza necesaria para producir una deflexión específica
- Prueba de compactación por fuerza específica: Una masa específica o fuerza comprimida se ejerce sobre el espécimen y se mide la deflexión resultante

ASTM D698 que cubre “Métodos de prueba para compactación, características del suelo usando esfuerzo estándar”. Este método de prueba emplea el siguiente procedimiento:

- Un suele con un contenido de agua dado se coloca en tres capas en un modelo de dimensiones dadas
- Cada capa se compacta mediante golpes de martillo neumático impulsado desde una altura de un pie
- Se determina el peso por unidad en seco resultante
- El procedimiento se repite para un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el peso de unidad seco y el contenido de agua del suelo
- Cuando se unen, los datos representan una relación conocida como la curva de compactación
- De dicha curva se desprenden los valores del contenido máximo de agua y del peso de unidad seca máximo estándar

ASTM D5084: cubre “Medición de la conductividad hidráulica de materiales porosos saturados usando un permeámetro de pared flexible”. Este estándar se aplica a un flujo laminar unidimensional de agua dentro de un material poroso como tierra y roca. La conductividad hidráulica de los materiales porosos suele aumentar con una mayor cantidad de aire en los poros del material. La prueba asume que la ley de Darcy es válida y que la conductividad hidráulica no se ve afectada por el gradiente hidráulico. La validez de la ley de Darcy puede evaluarse si se mide la conductividad hidráulica del espécimen en tres gradientes hidráulicos; si todos los valores son similares (dentro de un 25%), entonces puede considerarse que la ley de Darcy es válida. Cuando se cambia el gradiente

hidráulico aplicado sobre un espécimen de prueba, el estado de tensión también cambia, y, si el espécimen es comprimible, su volumen cambiará también.

La norma ASTM D 3080 cubre “Prueba de corte directo en suelos en condiciones de drenaje consolidado”. El método de prueba consiste en colocar el espécimen en el aparato de corte directo al cual se aplica una tensión normal predeterminada. A medida que se corta el espécimen, se mide la fuerza de corte y el desplazamiento horizontal.

4.0 Resumen

Se ha discutido el origen, antecedentes y propósitos de las normas ASTM. Se han revisado algunas de las normas ASTM que son útiles para el uso de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil, con especial énfasis en la norma ASTM D 6270-98 (Re-aprobada en 2004), “Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications” [prácticas estándar en el uso de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil]. Se presentó la aplicación de TDA en un relleno de cementación en conformidad con ASTM D6270 y otras fuentes.

5.0 Referencias

1. Fisk, E.R. “Construction Project Administration” [administración de proyectos de construcción] 6th ed. Prentice Hall, 2000

2. http://www.astm.org/IMAGES03/Century_of_Progress.pdf

3. http://www.astm.org/HISTORY/index.html

4. TFHRC, Turner Fairbanks Highway Research Center, Scrap Tires - User Guidelines, FHWA, [guía de uso para neumáticos de desecho] http://www.tfhrc.gov/hnr20/recycle/waste/st4.htm, 2004

CIVIL 411 Mecánica de*l* Suelo

Aplicaciones de Neumáticos de Desecho en Ingeniería Geotécnica

1.0 Introducción

1.1 Trasfondo

California genera actualmente por sí sola aproximadamente 40 millones de neumáticos de desecho cada año. El consejo de gestión integrada de residuos (California Integrated Waste Management Board o CIWMB) tiene como objetivo proponer formas para desviar esos neumáticos del flujo de residuos hacia el reciclado en productos útiles. El consejo considera su uso en aplicaciones de ingeniería civil como el mercado de mayor crecimiento para los productos de neumáticos de desecho. El uso de los neumáticos de desecho como material de construcción tiene muchos beneficios . Algunos de esos beneficios son: ayuda a deshacerse de los neumáticos de desecho amontonados, evita las quemas de neumáticos (que son dañinas para el medio ambiente), preserva agregados valiosos y los usuarios pueden usar las propiedades de ingeniería únicas de los neumáticos de desecho.

Los neumáticos son materiales no biodegradables, lo que significa que cuando se eliminan nunca se desintegran completamente. Si no hubiera ningún uso para los neumáticos de desecho en los EE.UU., seguirá creciendo la acumulación de neumáticos desechados al mismo ritmo en que se producen nuevos neumáticos. El no ser biodegradables tiene su lado bueno y su lado malo. El lado positivo es que los neumáticos se pueden usar durante mucho tiempo, aunque ya no puedan utilizarse para el propósito para el que fueron fabricados en primer lugar. Su desventaja es que si entran al flujo de residuos en vez de reciclarlos hay que acumularlos. Aparte de la fealdad de los neumáticos de desecho, y el espacio desperdiciado, esa acumulación no es buena porque presenta peligros potenciales para el medio ambiente. Si se incendian, es muy difícil apagar el fuego. Esto es peligroso para la población y el medio ambiente porque las quemas de neumáticos liberan varios metales pesados y componentes peligrosos a la atmósfera como el arsénico, cromo, plomo, manganeso, níquel, mercurio, cadmio y aceite pirolítico. Por ejemplo, el incendio de Westley liberó 250.000 galones de aceite pirolítico lo que resulto en 4 millones de galones de agua contaminada por los esfuerzos para extinguir el incendio. A través de los años hemos podido seguir reduciendo con éxito la cantidad de neumáticos de desecho acumulados en los EE.UU., encontrando formas creativas de reciclarlos. Usar los agregados derivados de neumáticos para proyectos de ingeniería civil es una de esas formas. La Figura 1 muestra la reducción de neumáticos de desecho acumulados desde diez millones en 1992 hasta 180 millones en 2005. De hecho, el volumen de neumáticos de desecho usados en proyectos de ingeniería civil viene en segundo lugar después del volumen usado para combustible derivado de neumáticos. La Figura 2 de abajo muestra las tendencias en la reutilización de neumáticos en los Estados Unidos.

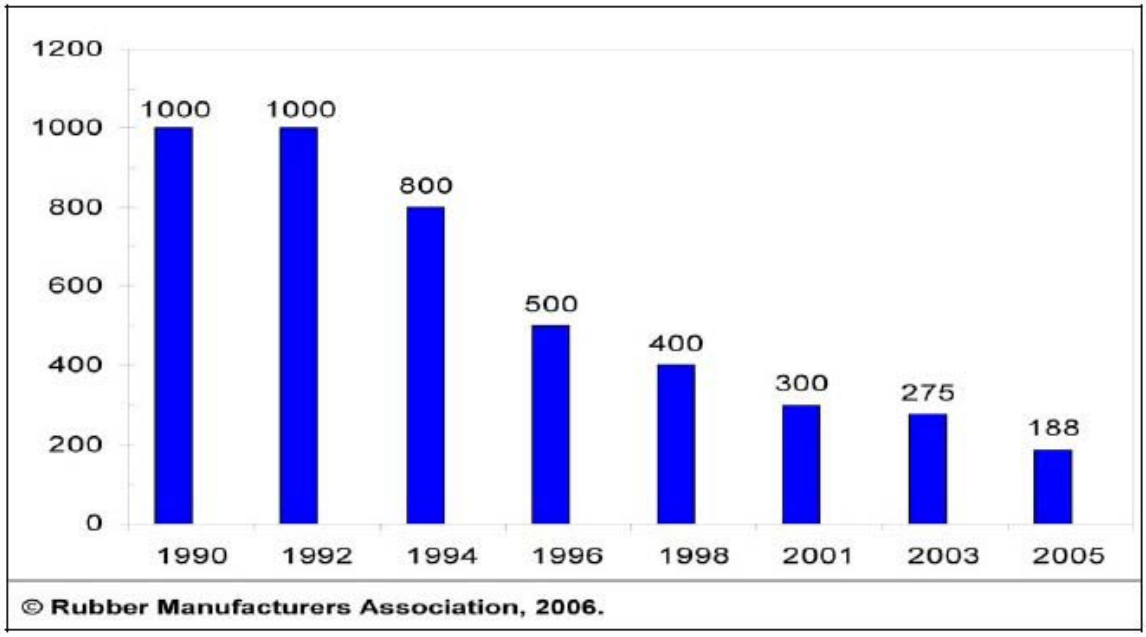


Figura 1. Millones de neumáticos desechados siguen acumulándose en montones en los EE.UU., 1990-2005

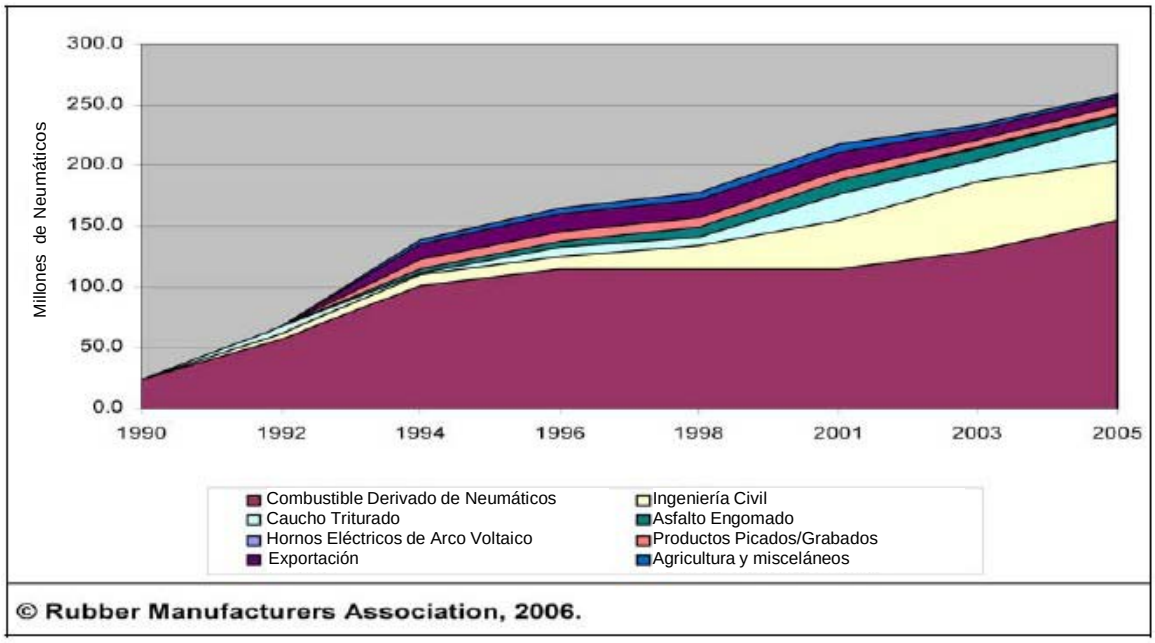


Figura 2. Reciclaje de Neumáticos de Desecho y Sus Tendencias en Los EE.UU.

Además de ayudar a reducir neumáticos de chatarra acumulados, el uso de agregados de neumáticos (TDA) reduce el uso de agregados, lo que puede traer beneficios económicos especialmente si el agregado es caro, al tiempo que reduce el impacto medioambiental de las actividades de extracción de agregado. Aunque los TDA pueden considerarse como

un “sustituto” del agregado, esto no significa que no pueda funcionar igual de bien, o incluso mejor, cuando se hacen diseños adecuados para determinadas aplicaciones.

1.2 ¿Qué son Los Agregados Derivados de Neumático (TDA)?

Los agregados derivados de neumáticos (TDA) se componen de hilos de neumático procesado que tienen una forma consistente y miden generalmente entre 25 mm (1 pulgada) y 300 mm(12 pulgadas) de tamaño. Los neumáticos se procesan desmenuzándolos y después se les retira la parte de acero de las bandas y cuentas con magnetos en una correa transportadora. Hay dos tipos de categorías de TDA: tipo A y tipo B. La siguiente figura muestra los dos tipos de TDA. Los TDA tipo A están hecho de hilos de menos de 3 pulgadas de longitud y es adecuado para drenaje, aislamiento y mitigación de la vibración. Los TDA tipo B están compuestos de hilos de menos de 12 pulgadas de largo y son apropiados para su uso como relleno ligero.

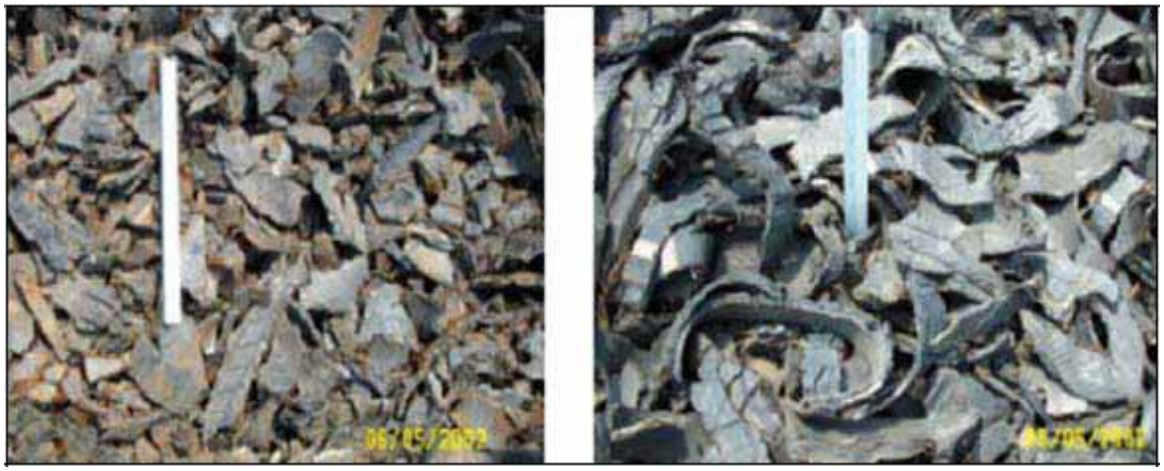


Figura 3: Izquierda: TDA Tipo A Derecha: TDA Tipo B

2.0 Propiedades y usos de los TDA

Algunas de las propiedades útiles de los TDA son que tienen un peso por unidad muy bajo (1/3 a ½ del suelo), tienen presión de terreno lateral baja (1/2 de suelo). También poseen buenas características de aislamiento térmico (8 veces mejor que el suelo común) y drenaje (10 veces mejor que el suelo común). Son comprimibles y duraderos. Algunas de las aplicaciones de ingeniería geotécnica para los TDA incluyen su uso como relleno posterior para muros de contención y cimientos de puentes, relleno ligero para cementación y relleno subterráneo, aislamiento subterráneo para carreteras y reparación de pendientes.

2.1 Relleno Para Muro de Contención

Los hilos de neumático constituyen un material de relleno excelente por muchas razones. La primera, el poco peso de los hilos de neumático reduce la presión horizontal en las paredes, lo que permite la construcción de muros más finos y menos caros. Adicionalmente, los hilos de neumático también pueden reducir problemas con la

acumulación de agua y escarcha detrás de los muros porque tienen drenaje libre y ofrecen buen aislamiento térmico.

2.2 Relleno Subterráneo y Cementaciones

El bajo peso unitario y bajo coste de los TDA comparado con otros materiales de relleno ligero lo convierten en un gran material para relleno subterráneo y de cementaciones. Los hilos de neumático, debido a su escaso peso, funcionan bien para construir cementaciones sobre suelos comprimibles y débiles porque suponen menor presión en el suelo de soporte, y porque a menudo los TDA son más baratos que el agregado de bajo peso (o en ocasiones es gratis) lo que puede ahorrar mucho dinero al usuario. Los ejemplos incluyen, obras para proteger a las carreteras de la erosión, mejorar la estabilidad de pistas de gran pendiente en las carreteras y reforzar las zonas de los bordes.

2.3 Aislamiento de Subsuelo para Carreteras

En los climas fríos, los materiales subterráneos pueden congelarse y causar levantamientos por escarcha dañando la superficie de la carretera. Además, habrá una perdida de resistencia una vez que los suelos subterráneos se deshielen. Los neumáticos de desecho son 8 veces mejor que la gravilla para reducir la penetración de la escarcha, por lo que si se coloca una capa de 6 a12 pulgadas de TDA debajo de la pista se puede evitar el congelamiento. Adicionalmente, la alta permeabilidad de las tiras de neumático permite que el agua se drene libremente bajo las carreteras, evitando así el daño a su superficie. Por tanto, los hilos de neumático ofrecen protección contra el levantamiento por escarcha y pérdida de resistencia estacional de las carreteras en los climas fríos.

2.4 Reparación de Pendientes.

Cuando se produce un corrimiento de tierra, suele ser necesario excavar el material desplazado de la carretera hasta la capa freático y después reconstruir la pendiente y la carretera en secciones vacías y compactas llamadas levantamientos. Asimismo, se suelen hacer mejoras al drenaje para aumentar su estabilidad. Debido a que los hilos de neumático tienen una capacidad muy buena de drenar, son ligeros, fácil de excavar y baratos se consideran materiales deseables para los ingenieros civiles, directores de obras públicas y contratistas para su uso en diseñar y construir proyectos económicos de calidad en esta aplicación.

3.0 Estudios de Caso

3.1 Relleno Posterior Para Muro de Contención Del Muro 119 en Riverside, California

Los TDA se usaron como relleno posterior en un proyecto construido durante el verano y otoño de 2003 para ampliar el lado oeste de la Ruta 91. Se construyó un muro de 12 pies siguiendo las especificaciones estándar de Caltrans con TDA como material de relleno. La pregunta a responder era ¿son los TDA tan efectivos como un suelo de relleno posterior típico en esta aplicación? Para responder esta pregunta los ingenieros decidieron instrumentar el muro para medir su desempeño. La instrumentación incluyó cuatro tipos

de medidores: extensómetro, célula de presión, sensor de temperatura y medidor de inclinación. El extensómetro se uso para medir la deformación en la barra dentro del muro. Para medir la tensión en el muro se instaló la célula de presión para monitorear la cantidad de presión que el relleno de TDA ejercía sobre la superficie del muro. El sensor de temperatura se uso para monitorear la temperatura de los TDA (si se pone demasiado caliente puede hacer combustión) y el medidor de inclinación se utilizó para medir la inclinación del muro. Un análisis de los datos medidos ayudó a los ingenieros a concluir que la respuesta a la pregunta era: Sí, los TDA son tan efectivos como el suelo para relleno posterior típico. Las figuras 4 y 5 muestran la construcción del muro de contención 119, incluyendo la construcción con relleno posterior de TDA.

Figura 4. Construcción Del Muro de Contención 119 en la Ruta 91 en Riverside

Figura 5. Izquierda Superior: Extensómetro Superior Derecha: Instalación del Sensor de Temperatura Inferior Izquierda: Instalación del Medidor de Inclinación; Inferior Derecha: Emplazamiento de Los TDA

3.2 Relleno de Cementación en el Intercambiador Dixon Landing

El intercambiador de Dixon Landing requería que el fango blando de la plataforma soportará un cementación para la autopista I-880 rampa sur. El poco peso de los TDA lo convertía en un buen candidato para el proyecto, así que fue usado para el núcleo del cementación. Los hilos de neumático no solo funcionaron bien para el proyecto, si no que al usarlos se ahorraron aproximadamente $230.000. La figura 6 muestra una intersección típica del proyecto de vía de acceso Dixon. La figura 7 muestra la construcción del intercambiador de Dixon Landing. Nótese que no se requirió equipamiento de construcción especial para construir el cementación con TDA.

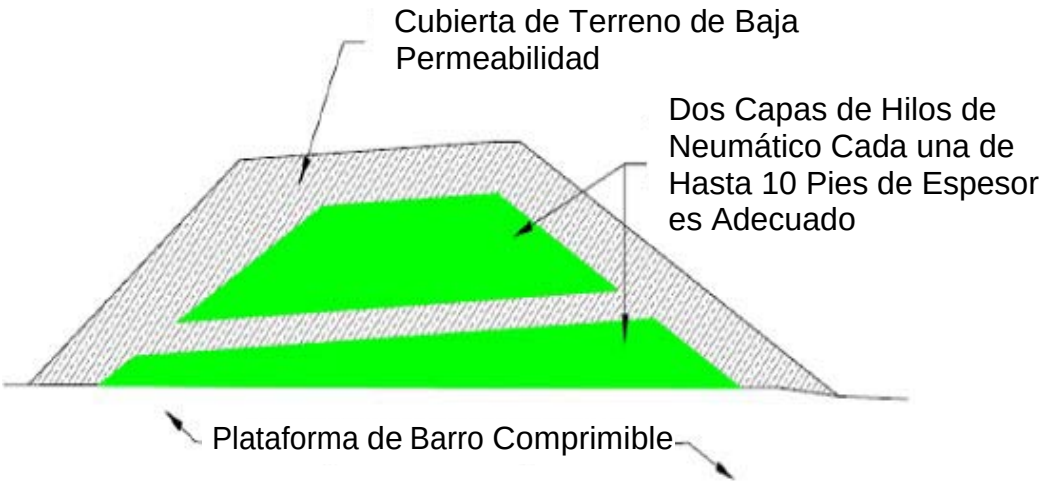


Figura 6. Típico Corte Transversal del Proyecto de vía de Acceso con TDA en Dixon

Figura 7. Superior Izquierda, Descarga de los TDA; Superior Derecha: Expansión de los TDA; Inferior: Compactación de los TDA

3.3 Aislamiento Subterráneo: Carretera de la Granja Witter, Orono, Maine

Esta carretera era altamente susceptible al levantamiento por escarcha debido al clima frío de Maine, y a un debilitamiento de la capa interior durante la temporada de deshielo lo que ocasiona grietas y surcos en el pavimento asfáltico. Los TDA se usaron como capa de subsuelo bajo la carretera lo que evito que ocurriese el levantamiento por escarcha. La Figura 8 muestra un corte transversal típico de la carretera. Adicionalmente, los hilos de neumáticos resultaron ser mucho más permeables que la gravilla por lo que el agua drena fácilmente. La Figura 9 muestra la construcción de los TDA como capa subterránea de aislamiento. La Figura 10 muestra que los hilos de neumático pueden reducir de manera significativa el levantamiento producido por la escarcha. +La profundidad de la escarcha de las secciones 2, 3, 4 y 5 fue menor que las de la sección de control.

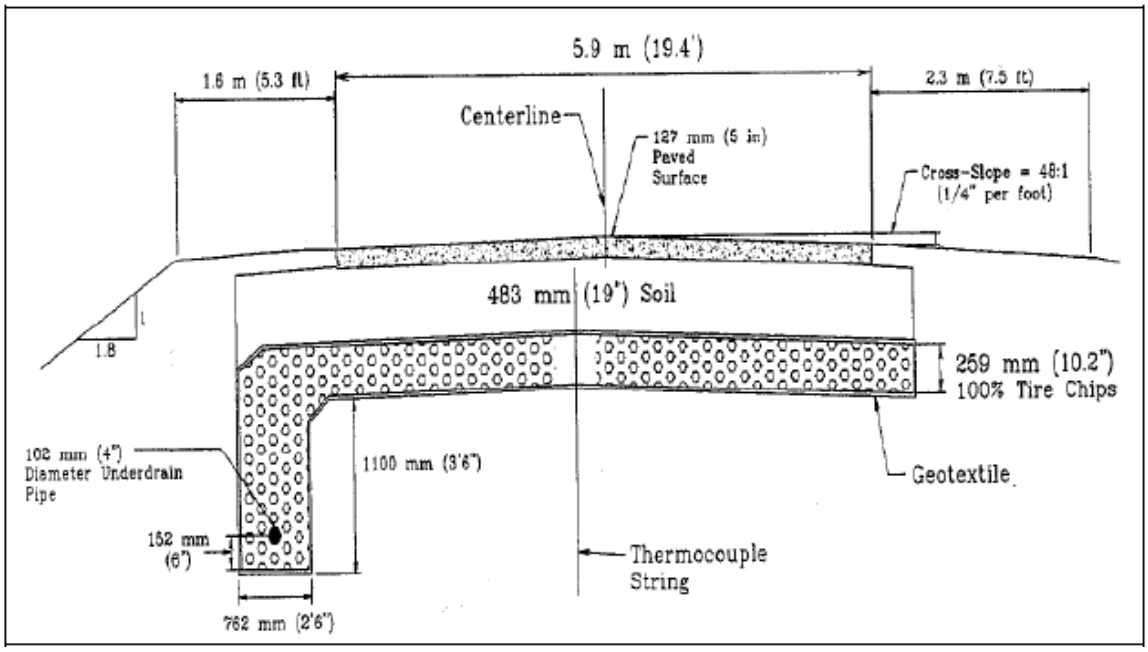


Figura 8. Corte Transversal Típico de la Witter Farm Road

Figura 9. Witter Farm Road, Colocación y Compactación de TDA

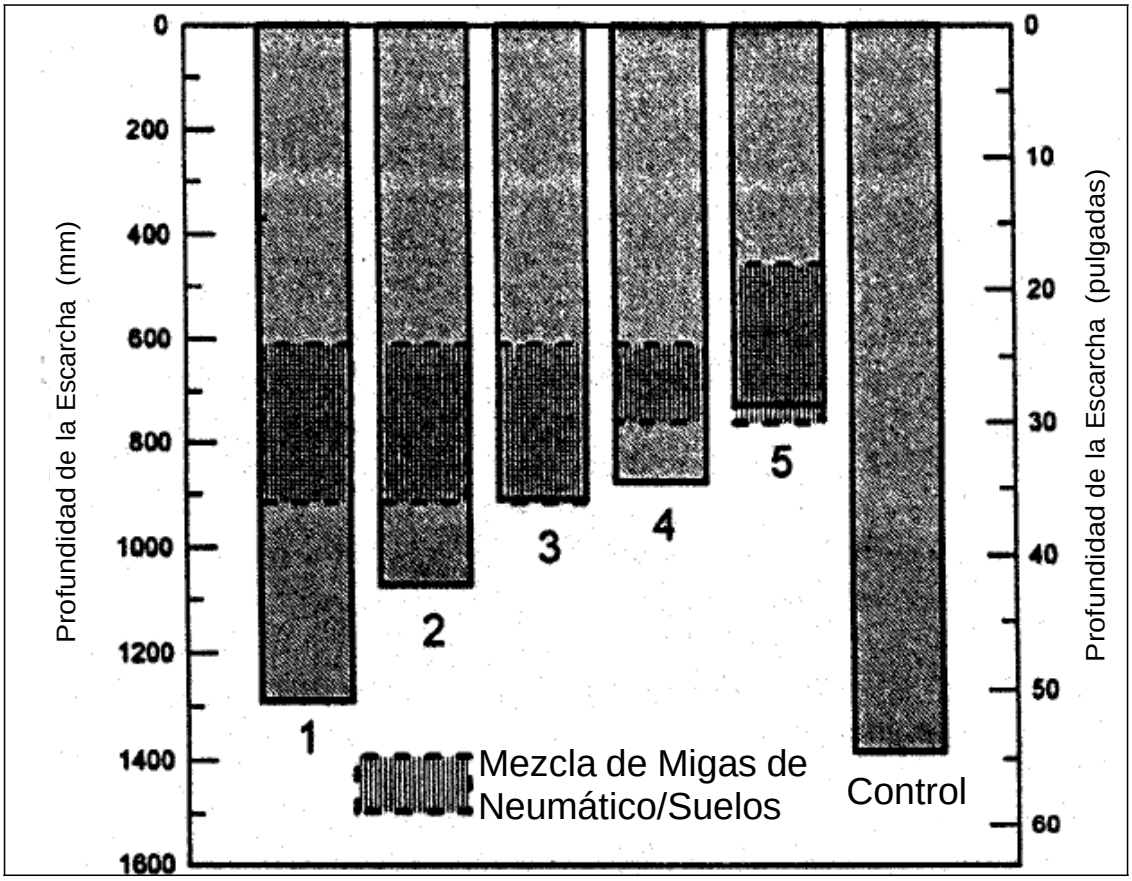


Figura 10. Witter Farm Road, Penetración de Escarcha en el Invierno 1996/7

3.4 Reparación de Pendiente en Marina Drive, Ukiah, CA

El mar se llevó una parte de la carretera de Marina Drive y los TDA se usaron como reemplazo en vez del suelo de relleno posterior típico. La Figura 11 muestra la parte de

Marina Drive que desapareció. Los TDA resultaron ser una alternativa excelente al suelo de relleno posterior tradicional.

Figura 11 Partes de la carretera dañada en Marine Drive

La Figura 12 muestra el esquema de diseño transversal para uso de TDA como material de relleno para reducir el peso y aumentar la estabilidad de la pendiente. La figura 13 muestra la construcción del proyecto. Y la Figura 14 ilustra el proyecto terminado con una cobertura de césped.

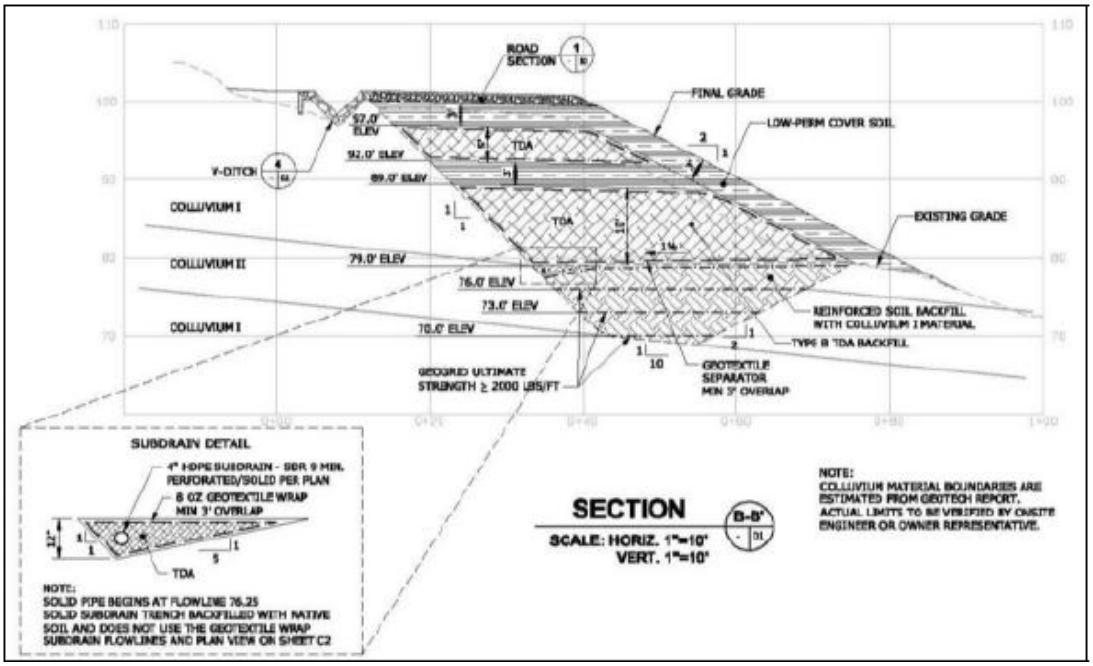


Figura 12 Marina Drive, Dibujo del Cruce Propuesto

Figura 13. Construcción con TDA en la reparación de la pendiente en Marina Drive

Figura 14. Proyecto Terminado de Reparación de Pendiente en Marina Drive

4.0 Resumen y Recomendaciones

El agregado derivado de neumático (TDA) posee varias propiedades físicas únicas que pueden usarse en ingeniería geotécnica. La densidad sobre el terreno de los TDA varía entre 45 lb/ft3 a 58 lb/ft3, lo cual equivale a aproximadamente 1/3 a 1/2 de la unidad de peso del suelo. Los TDA pueden usarse como material ligero para construir cementación sobre suelos de base débil y comprimible. Los TDA poseen una permeabilidad alta, mas de 1 cm/seg, lo que puede reemplazar el agregado convencional para usarse como medio de recolección de gas o material de recolección de lixiviado. Los TDA son un material con buen aislamiento térmico, que es 8 veces superior al de la gravilla. En climas fríos, colocar una capa de neumático triturado de 6 a 12 pulgadas de espesor bajo la carretera puede evitar que se congelen las capas de subsuelo. Además, puede producirse un exceso de agua cuando los suelos de base se descongelen. La alta permeabilidad de los neumáticos triturados permite que el agua drene libremente bajo la carretera, evitando daño a la superficie. Debido a su poco peso, los TDA son también un excelente material de relleno para reparación de pendientes que permite aumentar el factor de seguridad en comparación con los materiales de relleno convencionales.

5.0 Referencias

1. ASTM D 6270, Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications, August 1998, reapproved 2004. [Práctica estándar para el uso de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil, agosto 1998, re-aprobada en 2005]

2. Dana Humphrey “Civil Engineering Applications using Tire Derived Aggregates”(TDA) [aplicaciones de ingeniería civil con agregados de neumáticos], CIWMB, Sacramento, 2003.
3. Kennec, Inc. Project Manual and Specifications, Marina Drive Slide Repair [manual y especificaciones de proyecto, reparación de pendiente en Marina Drive], CR 266 en M.P. 0.63, Mendocino County, California, June 2007.
4. Kennec, Inc. Tire Derived Aggregate as Retaining Wall Backfill [Agregado derivado de neumáticos como relleno posterior de muros de contención], Wall 119, Riverside, CA, http://www.usetda.com/page.php?id=12. Revisado el 20 de julio, 2008.
5. Tire Derived Aggregate as Embankment Fill [agregado derivado de neumático como relleno de cementación], KENNEC, Inc. Sitio web. http://www.usetda.com/page.php?id=18. Revisado el 30 de julio, 2008.

CIVIL415 Hormigón Reforzado

Hormigón Engomado Incluido (RIC)

1.0 Introducción

Se ha realizado una cantidad importante de estudios sobre el uso de productos de neumático reciclado en la fabricación de caucho, incluyendo el hormigón de cemento Pórtland (RIC). Sin embargo, hasta la fecha no existen aplicaciones comerciales aceptadas ampliamente para el hormigón engomado incluido (Rubber included concrete o RIC). Se prepararon materiales didácticos para analizar las aplicaciones de añadir productos de neumáticos de desecho a mezclas de hormigón para alterar las propiedades mecánicas del mismo. Se desarrolló un proyecto de laboratorio para determinar los efectos de añadir distintos porcentajes de caucho triturado y pulidos de neumático en lugar de agregado fino y grueso en la mezcla. Se discuten los métodos apropiados para lograr la sustitución correcta en la mezcla. También se presenta una discusión sobre los efectos de añadir productos de neumáticos de desecho a las propiedades del hormigón.

1.1 Objetivos

Los objetivos de este capítulo son presentar a los estudiantes el uso de material reciclado no tradicional en el diseño de mezcla de hormigón y evaluar los efectos de estos materiales en las propiedades de ingeniería del hormigón resultante.

1.2 Historia

La literatura contiene un cuerpo sustancial de investigación sobre los impactos de usar productos de neumáticos de desecho en la fabricación de hormigón de cemento Pórtland. Se han evaluado los diferentes tipos de productos de neumáticos de desecho, desde el caucho triturado fino a las migas de neumático, para una variedad de propiedades mecánicas del hormigón engomado resultante. A pesar de ello, actualmente no hay ninguna aplicación del RIC que sea de uso común.

1.3 Teoría

Varios investigadores han estudiado los efectos de añadir productos de neumáticos de desecho para modificar las propiedades de ingeniería en la mezcla de hormigón resultante. Estos investigadores han adoptado diferentes nombres para describir las formulas las mezclas diseñadas, por ejemplo:

- Hormigón de Caucho Triturado (CRC)
- Hormigón Engomado Incluido (RIC)
- Hormigón Engomado
- Hormicaucho
- Hormigón Relleno de Caucho de Neumático

Hormigón engomado o Rubber included concrete (RIC) fue elegido como el mejor nombre para usar en este módulo. Se han encontrado importantes problemas para comparar los resultados de estas investigaciones. No solamente los varios investigadores usan diferentes productos de neumáticos de desecho, sino que también formulan sus diseños de mezclas de forma distinta. Este se ve complicado todavía más por diferentes metodologías de pre-tratamiento y mezcla empleadas por los distintos investigadores. Esto dificulta la comparación directa de los resultados disponibles en la literatura, pero es posible extraer conclusiones generales sobre los efectos de añadir neumáticos de desecho a las mezclas de hormigón asfáltico tipo Pórtland.

1.4 Beneficios y limitaciones de RIC

Los beneficios potenciales de añadir productos de neumáticos de desecho al hormigón de cemento tipo Pórtland incluyen:

1. Reduce la resistencia comprimida. La reducción de la resistencia comprimida no suele considerarse un beneficio, excepto si se piensa que las propiedades del hormigón normalmente están relacionadas con la resistencia comprimida. Por ejemplo, cuanto menor es la resistencia comprimida, menor será el módulo de elasticidad del hormigón. Si se desea una mezcla más flexible, reducir la resistencia comprimida puede ayudar a lograrlo.
2. Aumenta la ductilidad. La capacidad del hormigón para deformarse sin romperse, especialmente para el hormigón sujeto a tensiones tensiles, se aumenta al incluir caucho.
3. Aumenta la dureza. La capacidad de absorber energía sin fracturarse, representada por el área total bajo la curva de deformación por estrés, ocurre con la inclusión de caucho.
4. Puede reducir el agrietamiento. Un aumento en la ductilidad y dureza de RIC combinadas con la mayor flexibilidad (menor rigidez) puede resultar en la disminución en la tendencia del hormigón para agrietarse.
5. Reduce el peso unitario del hormigón. Debido a que la gravedad específica del caucho es casi una unidad en comparación con la gravedad específica del agregado mineral que está en el rango de 2,6 a 2,7. Además, el añadir productos de neumáticos de desecho a la mezcla de hormigón tiende a aumentar el contenido de aire del mismo, reduciendo aun más su peso unitario.
6. Reduce el coeficiente térmico de contracción/expansión. Es interesante el hecho de que aunque el caucho tiene un coeficiente de expansión térmica de una magnitud mayor al hormigón (70 a 110 x 10-6/^{o}F para el caucho versus 4 a 8 x 10-6/^{o}F para el concreto), el RIC presentó un valor menor que la mezcla de control sin caucho. Esto puede deberse a la mucha menor rigidez del caucho en comparación con el agregado mineral, lo que permite que la expansión/contracción se realice mediante la expansión/compactación del caucho incluido en la mezcla, y sin causar un cambio de tamaño del espécimen con los cambios de temperatura.

7. Puede reemplazar los agentes de entrada de aire en ambientes fríos. El caucho incluido en el hormigón, si se dispersa bien, puede comprimirse para permitir que el volumen ajuste el aumento de volumen del agua a medida que cambia la fase de cambio por expansión al congelarse. Asimismo, añadir caucho a la mezcla aumenta la cantidad de aire aumentado debido a las burbujas de aire que se pegan a las partículas de caucho. Esto puede permitir al diseñador de la mezcla reemplazar químicos caros de expansión de aire por un producto reciclado mucho más barato. Uno tiene que cuestionar la validez de usar un recipiente de presión para medir el contenido de aire ya que están calibrados para agregados minerales que son mucho más rígidos (casi no comprimibles) comparados con el caucho (la relación del módulo de elasticidad de la piedra con el caucho está en el orden de 10.000). Así que la pregunta es cuanto del contenido de aire se mide como compactación del caucho en la mezcla de hormigón. Esto puede calcularse calibrando el recipiente de presión con agua de acuerdo a las instrucciones del manual de usuario y reemplazando parte del agua con la cantidad esperada de caucho en el mismo volumen de hormigón que en el recipiente de presión. El contenido de aire resultante (si no hay burbujas de aire presentes en la superficie o el interior de las partículas de caucho) y el recipiente de presión pueden recalibrarse para incluir la comprimibilidad del caucho.
8. Mejora el aislamiento (pero disminuye la masa térmica). El caucho es un aislante muy superior al hormigón, así que al añadir caucho el hormigón se convertirá en un mejor material asilarte. Sin embargo, el caucho almacena mucho menos calor que el hormigón, así que el caucho disminuye la masa térmica del hormigón.
9. Reduce la transmisión del sonido. El caucho es un excelente material para mitigar la vibración y cuando se añade a mezclas de hormigón reduce el sonido que se transmite a través del hormigón.

La principal desventaja de usar caucho de neumáticos de desecho en el hormigón de cemento Pórtland es la reducción de la resistencia comprimida (y tensil). Se ha informado que la resistencia comprimida disminuye dramáticamente al aumentar el contenido de caucho. Esto es debido a varios factores, incluyendo:

1. El caucho es un material más débil y menos rígido que el agregado mineral.
2. Añadir caucho al hormigón suele aumentar el contenido de aire, reduciendo aun más la resistencia comprimida.
3. Algunos investigadores añadieron caucho a la mezcla por peso y no por volumen lo que aumentó el volumen absoluto de los agregados gruesos y/o finos en la mezcla, disminuyendo a su vez la resistencia comprimida.
4. El cemento Pórtland se fabrica para unirse a agregados minerales, no al caucho. Puede haber una disminución de la resistencia causada por la mala cohesión entre la pasta de cemento y las partículas de caucho.

Otras desventajas incluyen la reducida resistencia al fuego de RIC y los vapores tóxicos que libera cuando se lo somete a temperaturas elevadas. Asimismo, es posible que el RIC no sea tan reciclable como el hormigón normal.

Entre las aplicaciones potenciales de RIC se incluyen:

1. El caucho de neumático puede reemplazar la entrada de aire en aplicaciones en climas fríos.
2. El RIC puede ser más flexible y resistente a las grietas en pavimentos ligeros.
3. El RIC puede ser más útil donde se requiere mitigar la vibración y la transmisión del sonido.

2.0 Síntesis de los Resultados de la Investigación

La Tabla 1 resume algunos diseños de mezcla encontrados en la literatura por tipo de caucho, contenido y método del diseño de mezcla. Existen varias dificultades a la hora de interpretar los resultados de la literatura:

1. Se usaron diferentes tipos de partículas de neumáticos
2. Se emplearon diferentes métodos de diseño de mezcla
3. Se usaron diferentes métodos de pre-tratamiento para las partículas de neumático
4. Se usaron diferentes procedimientos de prueba para evaluar el hormigón resultante

Tabla 1. Revisión bibliográfica de diseños de mezcla para hormigón engomado

Autor	Tipo de Goma	Contenido de la Goma	Método de Diseño de Mezcla
Kaloush et. Al. (incluir fechas para todas las referencias)	Caucho pulverizado de 1mm	0, 50, 100, 150, 200, y 300 #/yd^3	Reemplazo del agregado fino con caucho triturado por peso, relación agua/cemento aumentada
Fedroff et. al.	Polvo extra fino	0, 10, 20, y 30%	Por peso del cemento en la mezcla ajustada a una relación w/c para obtener 3 a 5 pulgadas de caída
Tantala et.al.	Tantala et.al.	5 y 10%	Reemplazo del 5% y 10% de agregado grueso con goma pulida por volumen
Li et. al.	Goma granulada cirogénica < 2mm	33%	Se reemplazó el 33% de agregado fino por volumen
Schimizze et.al.	Goma Reciclada Fina/Gruesa	5% de mezcla de diseño por peso	Bajada tanto de 1. agregado fino; y 2.agregado fino y grueso para obtener un 5% de goma por peso

Biel y Lee	virutas de goma menores de 3/8”	0 a 90% en incrementos de 15%	Reemplazo del agregado fino con migas de goma por volumen, y que da de 0 a 25% de goma por volumen en mezcla
Eldin et.al.	Chips de neumático granulado, caucho en migajas fino	0, 25, 50, 75, 100% por volumen	Hacer ensayos con especímenes colocando agregado grueso o fino

El tamaño de las partículas usadas va desde polvo súper fino hasta hilos de neumático de 1-1/2 pulgadas. Algunas partículas de neumático incluyen solo caucho y otras contienen también acero. Se usaron diferentes estrategias de mezcla, alguna volumétrica, algunas basadas en el peso y otras solo añadiendo partículas de neumático a la mezcla. Se registraron diferentes pre-tratamientos de las partículas de neumático, incluyendo remojo previo, cobertura con cemento tipo Pórtland y otros químicos. Por tanto, sólo se pueden extraer conclusiones generales de los resultados publicados en la literatura.

3.0 Estudios de caso

Lo que sigue es un resumen de algunas de las propiedades de ingeniería del hormigón engomado extraídas de la literatura. Estas propiedades incluyen:

- Resistencia Comprimida
- Resistencia de Tracción (cilindro doble)
- Resistencia flexional (módulo de ruptura)
- Peso unitario
- Contenido de aire
- Rigidez
- Ductibilidad
- Dureza
- Coeficiente de Expansión Térmica
- Durabilidad
- Características de mitigación

La característica más importante del hormigón y que se relaciona con todas las demás propiedades mecánicas es la resistencia comprimida (f,c). Por ello se han realizado muchas investigaciones para evaluar los efectos para la resistencia comprimida de añadir caucho de neumáticos de desecho al hormigón. El caucho es más débil y menos rígido que los agregados minerales a los que reemplaza, lo que reduce la resistencia comprimida Se ha descubierto que aumentar el contenido de caucho también aumenta el contenido de aire, lo que a su vez reduce la resistencia comprimida. Las características de unión entre la pasta de cemento y el caucho también pueden reducir la resistencia comprimida. Como

siempre, factores como la relación agua/cemento, peso unitario, destreza y fijación afectan a la resistencia comprimida.

Como un ejemplo de los efectos de añadir caucho de neumático de desecho al hormigón, se presenta el trabajo de Kaloush, et.al.(fecha) como un estudio de caso para la resistencia comprimida. Primero, es importante entender el tipo de caucho usado y los parámetros del diseño de la mezcla. Se ofrece un resumen del diseño de mezcla en la siguiente tabla:

Tabla 2. Distintos Tipos de Hormigón Engomado Incluido con Diferentes Parámetros de Mezcla

ID Proyecto / Mezcla #	Peso unitario libras/cu pies	W/C ratio	Peso en seco de los materiales (lb/yarda cúbica)		
			Cemento	FA	CA
0 libras por yarda cúbica (ensayo)	147.8	0.42	525	1417	1731
50 libras por yarda cúbica (ensayo)	140.1	0.44	525	1367	1731
100 libras por yarda cúbica (ensayo)	135.7	0.45	525	1317	1731
150 libras por yarda cúbica (ensayo)	125.7	0.46	525	1267	1731
200 libras por yarda cúbica (ensayo)	126.5	0.47	525	1217	1731
300 libras por yarda cúbica (ensayo)	109.2	0.48	525	1117	1731

Usaron caucho triturado de partículas de 1 mm de tamaño y reemplazaron los diferentes pesos del agregado fino (50,100,150,200 y 300 libras/yarda cúbica). Esto resultó en un mayor volumen absoluto de agregado fino en el diseño de mezcla lo que se esperaba reduciría la resistencia comprimida (y tensil). El peso unitario del hormigón disminuye al aumentar el contenido de caucho triturado lo que puede estar relacionado con la resistencia comprimida. Asimismo, la relación de cemento y agua se aumento con el mayor contenido de caucho triturado, lo que a su vez reduce la resistencia comprimida. Más adelante, se vera que el grumo del hormigón disminuyó mientras que el contenido de aire aumentó con el aumento de peso del caucho triturado añadido a la mezcla. Menor grumo lleva a una menor maleabilidad (¡que se lo pregunten a cualquier contratista!) y eso influye en la calidad del producto final, lo cual podría explicar parte de la reducción en la resistencia comprimida. Finalmente, el aumento en el contenido de aire también causa una reducción dramática de la resistencia comprimida. La Figura 1 muestra una imagen del hormigón resultante para diferentes contenidos de neumática triturado en versión transversal, y el primer plano de la Figura 2 muestra los efectos visuales de añadir caucho a la mezcla y la distribución del caucho triturado en el hormigón.

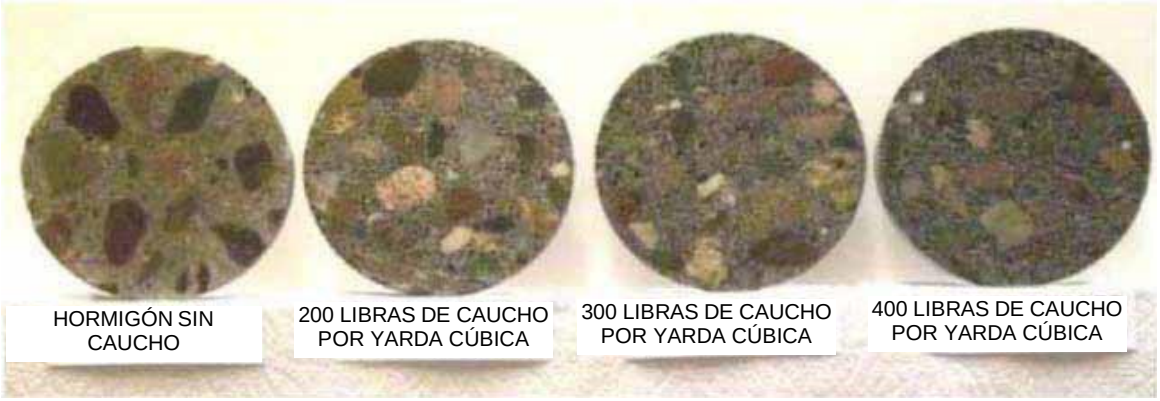


Figura 1. Corte Trasversal de una Muestra de Hormigón con Diferentes Cantidades de Caucho de Neumáticos de Desecho
(deben incluirse referencias en todas las figuras)

Figura 2. Primer Plano de una Muestra de Hormigón Engomado Incluido

Los efectos del contenido de caucho en la resistencia comprimida se informaron según se indica en la Figura 3.

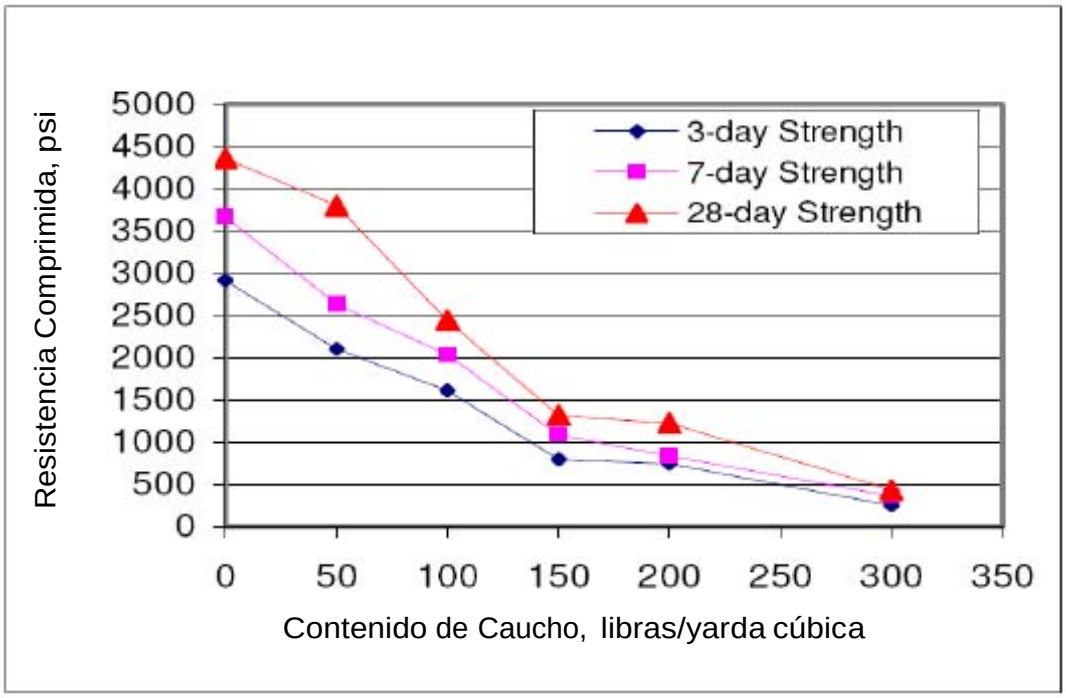


Figura 3. Resistencia Comprimida Versus Contenido de Caucho

La disminución dramática en la resistencia comprimida es evidente, con 300 libras/yardas cúbicas de hormigón que tiene casi el 10% de resistencia en comparación con la mezcla de control. El autor también informó los siguientes datos asociados a esos diseños de mezcla.

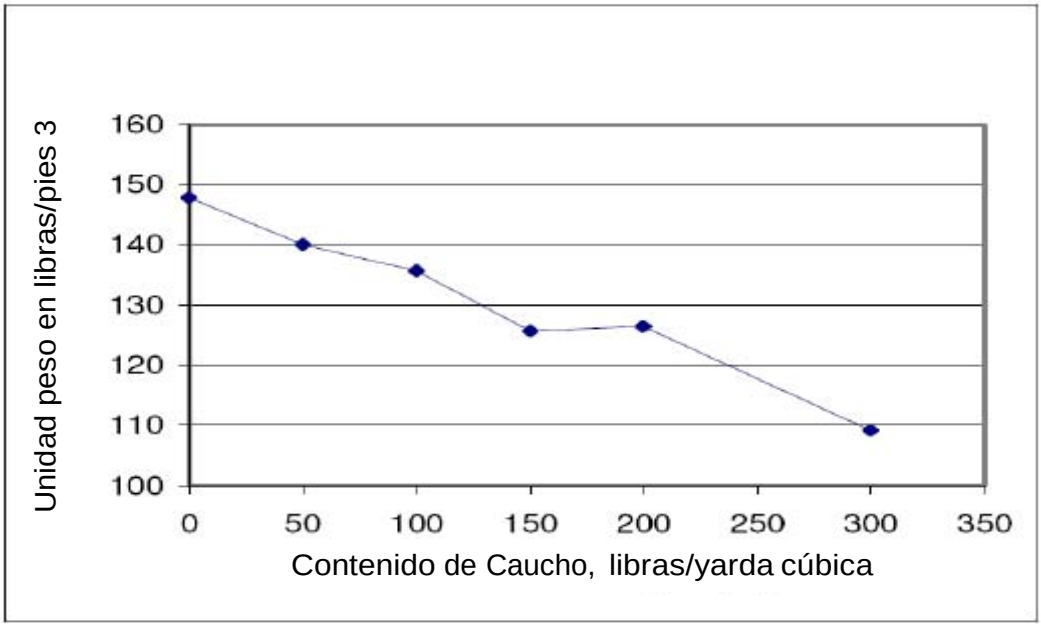


Figura 4. Unidad de Peso del Hormigón Versus Contenido de Caucho

El autor afirma que el peso unitario disminuye unos 6,2 pcf por cada 50 libras de caucho triturado que se añade a la mezcla. Parte de este descenso se debe al aumento en el contenido de aire de 5% por cada 50 libras de caucho triturado añadido a la mezcla según se muestra abajo:

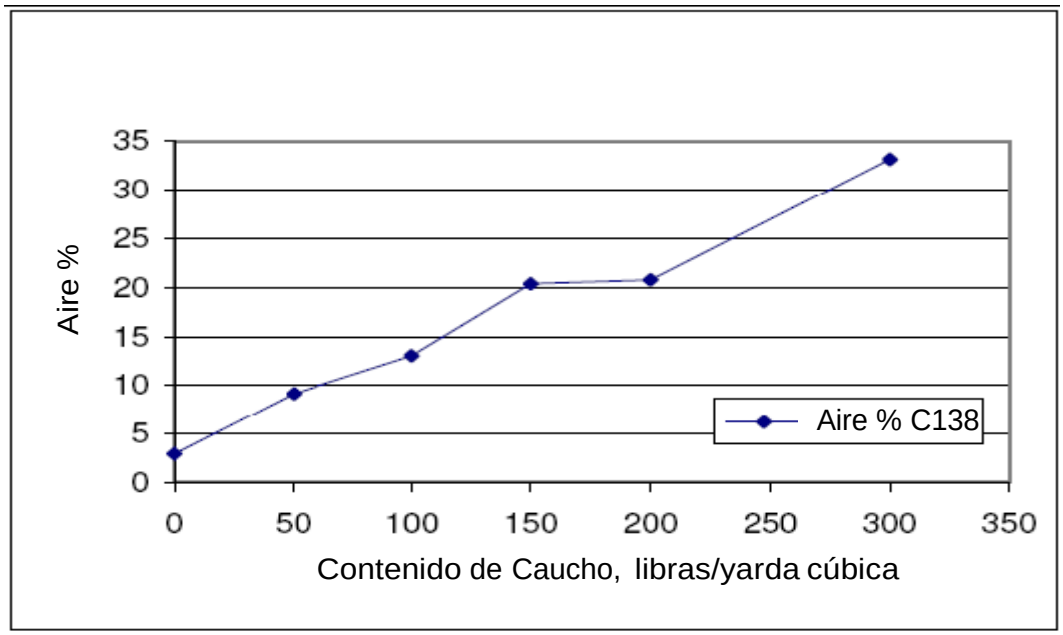


Figura 5. Contenido de Aire Versus Contenido de Caucho

Nuevamente, la adición de caucho triturado a la mezcla de hormigón añade un 5% de aire por cada 50 libras de caucho triturado que se añada a la mezcla. Las burbujas de aire se pegan a las partículas relativamente rugosas y son difíciles de despegar. Esto ha provocado que varios investigadores contemplen el pretratamiento del caucho no solamente como método para eliminar el aire, si no para aumentar la resistencia de la unión entre el caucho y el hormigón.

Aunque se aumentó ligeramente la relación agua/hormigón de 0,42 a 0 libras A 0,44 a 50 libras, y después 0,01 por cada 50 libras adicionales de caucho triturado añadido a la mezcla, el grumo y por tanto la maleabilidad disminuyeron como consecuencia del mayor contenido de caucho triturado tal como se muestra en la Figura 6. Esto puede deberse al mayor volumen de agregado fino en la mezcla.

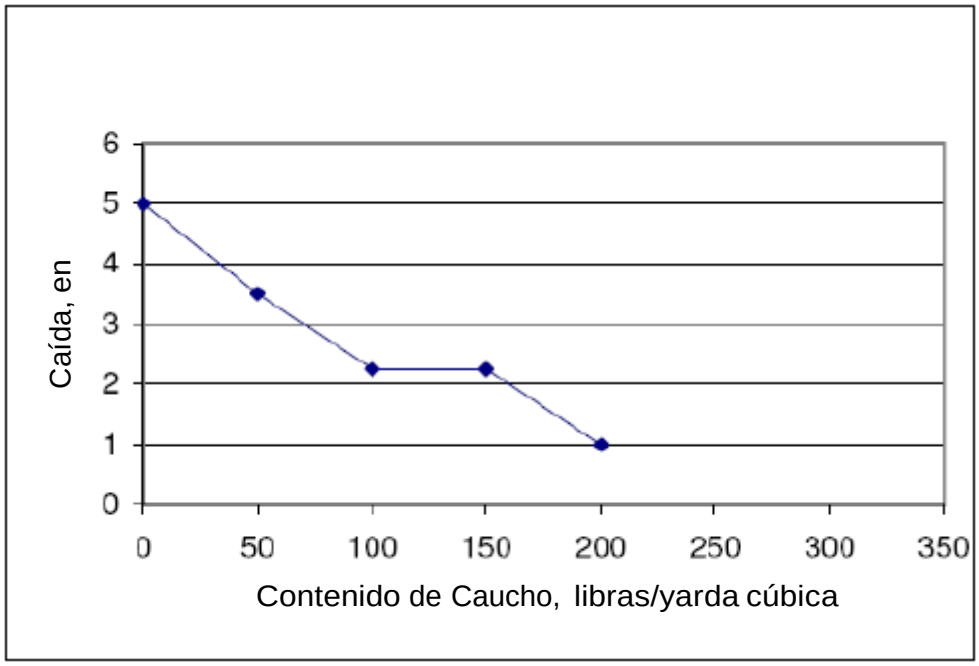


Figura 6. Grumo Versus Contenido de Caucho

Li et.al. (1998) evaluaron los efectos de reemplazar el agregado fino con un 33% de caucho triturado criogénico < 2,5 mm de tamaño por volumen, con una relación de agua/hormigón de 0,5. Se midió la resistencia comprimida y flexional y la rigidez del hormigón resultante para distintos métodos de pretratamiento que se muestran en la Figura 7; RBC-0 es hormigón normal, RBC-1 es caucho normal sin revestimiento, RBC-2 es caucho saturado de superficie seca (Saturated surface dry o SSD) recubierto de cemento Pórtland y agua adicional, y RBC-3 es sumergido en éter de celulosa METHOCELL (Dow Quemical Co.).

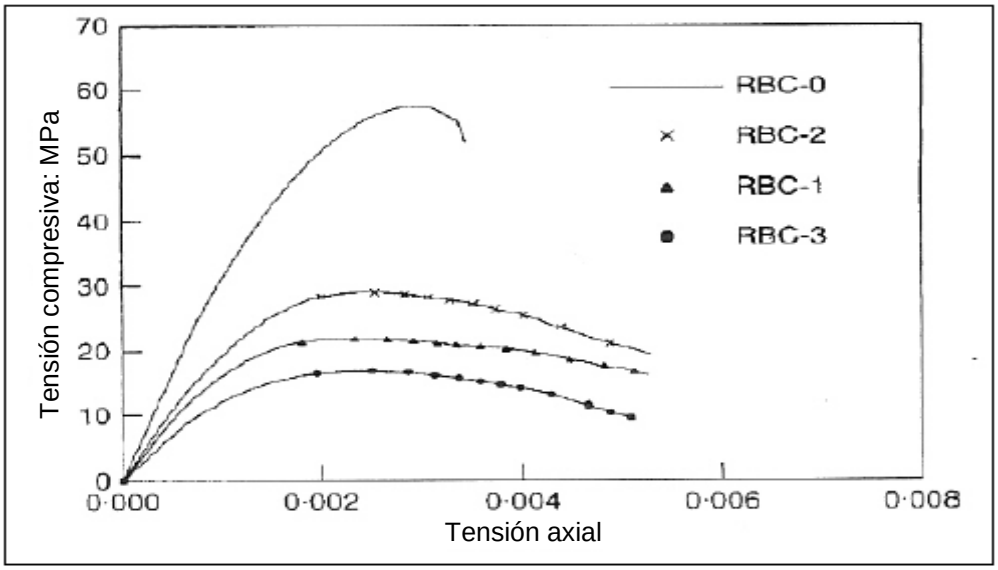


Figura 7. Tensión Comprimida versus Deformación Axial para Diferentes Tipos de Mezclas

Tanto la resistencia comprimida como la rigidez (módulo de elasticidad) disminuyeron al añadir caucho triturado. Sin embargo, es posible lograr un aumento en la resistencia comprimida y rigidez mediante el pretratamiento de las partículas en comparación con las no pretratadas. Nótese también el aumento en la deformación de fallo final, que es un indicador de la ductilidad. El siguiente gráfico de barras presenta los datos de la siguiente manera:

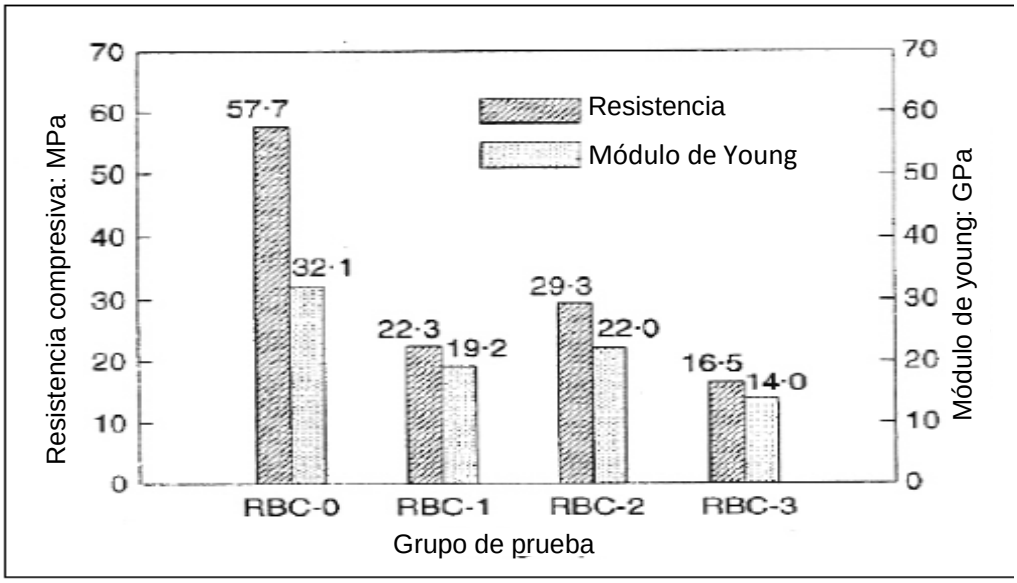


Figura 8. Resistencia Comprimida para Distintos Tipos de Mezcla de Hormigón

Los resultados muestran una disminución del 60% en la resistencia comprimida y una reducción del 40% en la rigidez sin pre-revestimiento, y alrededor de una reducción del 50% para la resistencia comprimida y 30% de disminución en la rigidez con pre-revestimiento; es decir, pretratar las partículas de caucho con el cemento Pórtland aumenta la resistencia comprimida en alrededor del 30% y la rigidez en un 15% en comparación con las muestras no tratadas.

Los resultados del estudio de Li indican una reducción menor en la resistencia flexional comparada con las pruebas de compactación (alrededor de 33%) que se muestra en la Figura 9, pero grandes aumentos en la ductilidad según lo medido por la deformación de fallo. Por tanto, el RIC es capaz de absorber mucha más energía bajo tensión que lo que indica la área más grande bajo la curva de deformación por tensión.

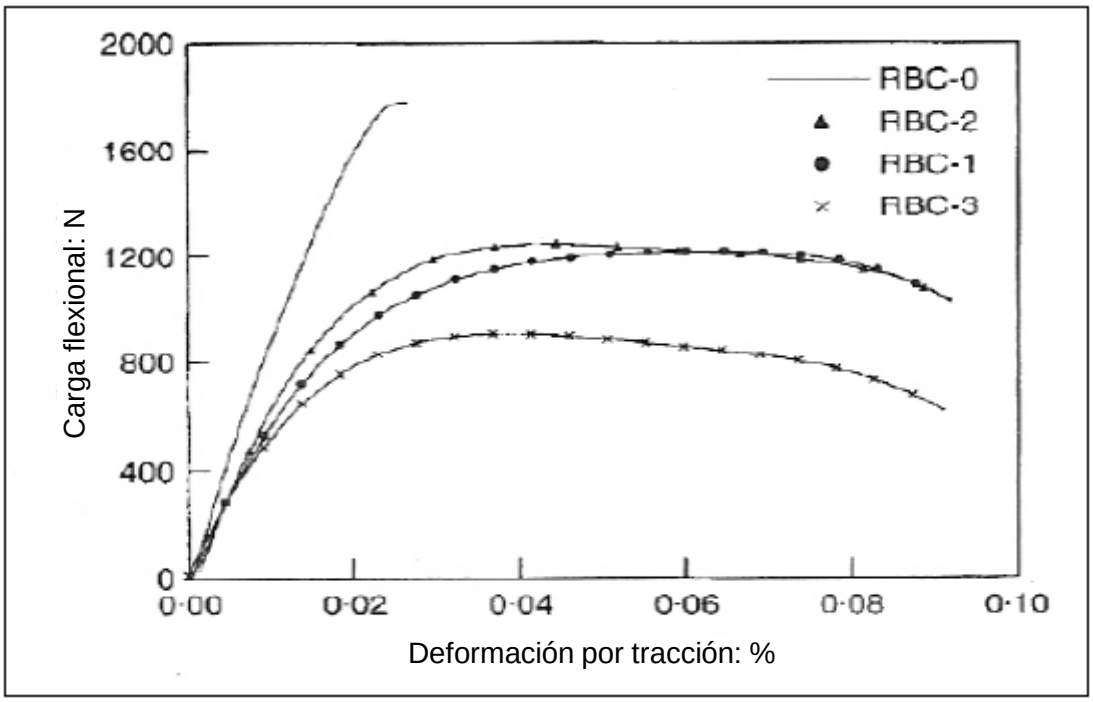


Figura 9. Carga Flexional versus Deformación Tensil

Tantala et.al. (2002) evaluó las curvas de deformación por tensión comprimida para el hormigón normal, y reemplazó un porcentaje (5 y 10%) del agregado grueso con pulido de caucho por volumen. También se consideraron dos métodos de pretratamiento: limpieza con agua y limpieza en acido. Aquí solo se consideran los resultados del agregado lavado en agua. Para cada uno de los siguientes gráficos, nótese los datos informados en las leyendas que serán resumidos más adelante. La Figura 10 muestra la curva de deformación por estrés para el hormigón normal. Las figuras 11 y 12 muestran las curvas de deformación por estrés para el hormigón con porcentajes de caucho del 5% y 10% respectivamente. Nótese que el área total bajo la curva de la deformación por estrés representa la dureza del material.

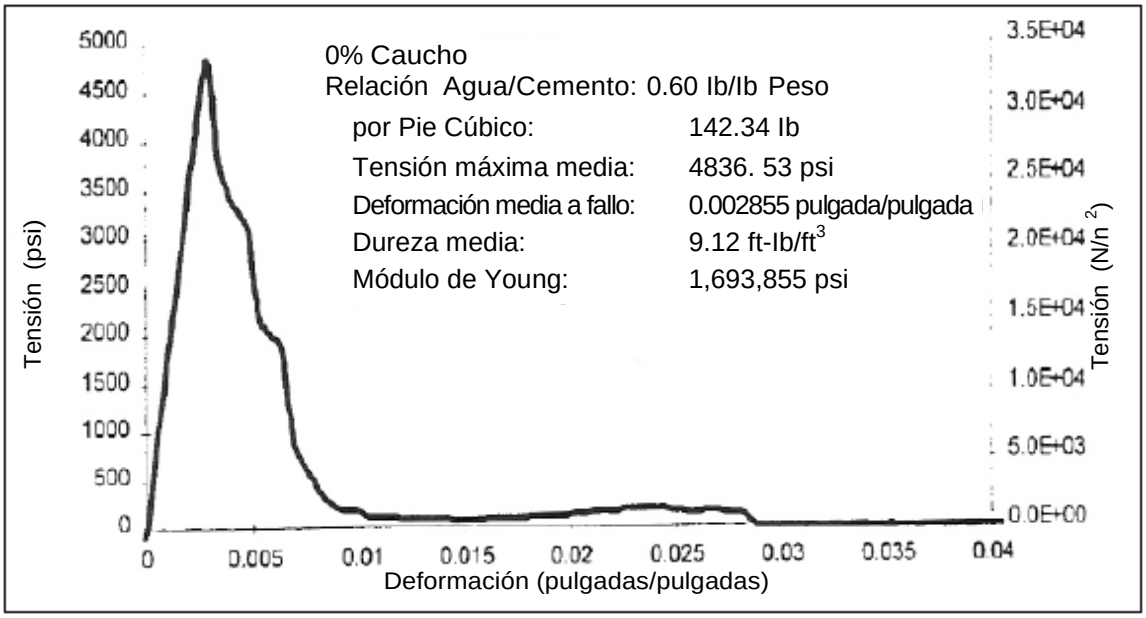


Figura 10. Curva de Deformación por Estrés para Hormigón con 0% de Caucho

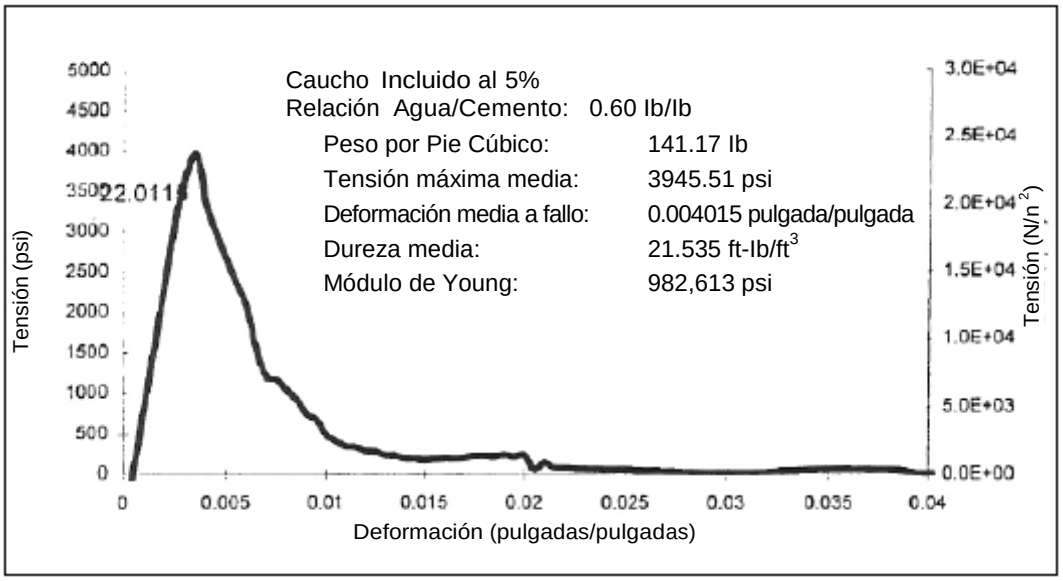


Figura 11. Curva de Deformación por Estrés para Pulido de Caucho de Neumático al 5% en la Mezcla

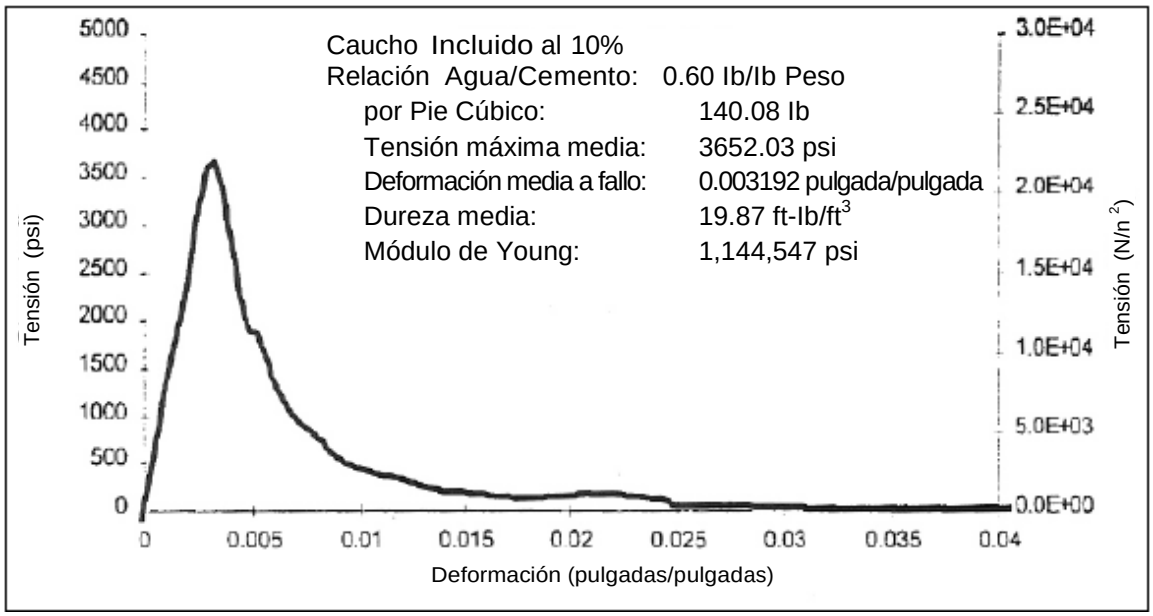


Figura 12. Curva de Deformación por Estrés para Pulido de Caucho de Neumático al 10% en la Mezcla

Las siguientes dos figuras presentan datos tomados de las leyendas de los tres anteriores gráficos. La tensión por fallo disminuye con el aumento de contenido de caucho como se suponía. Sin embargo, se informó un aumento dramático de la dureza con un cinco por ciento de caucho triturado comparado con el hormigón normal. Entonces, hay una disminución de la dureza con caucho al diez por ciento debido a la baja resistencia comprimida de la muestra.

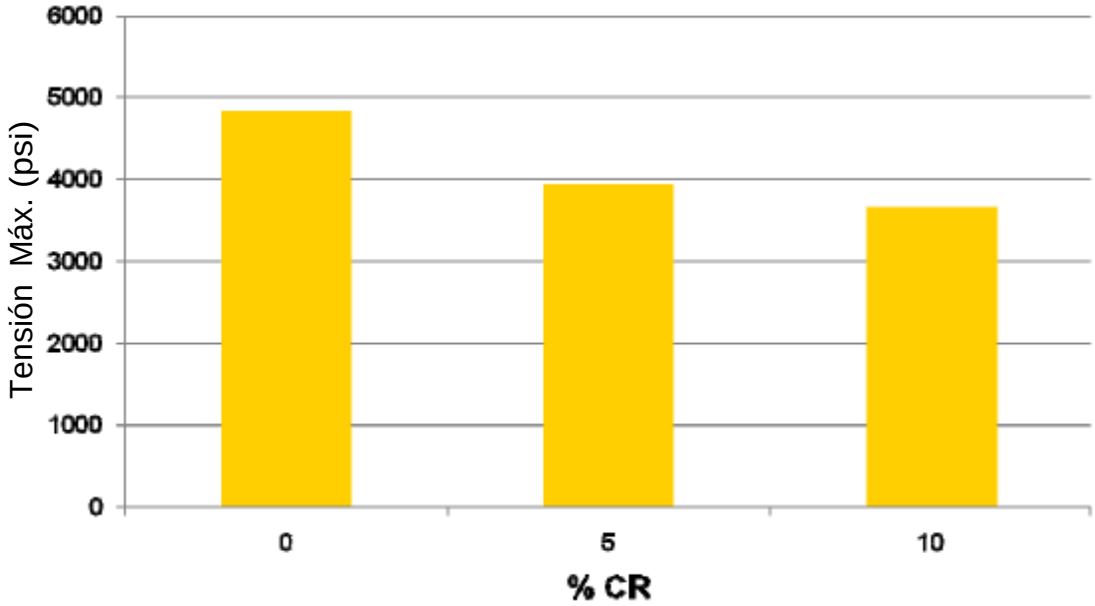


Figure 13. Figura 13. Máxima Tensión Comprimida versus Porcentaje de Caucho Triturado

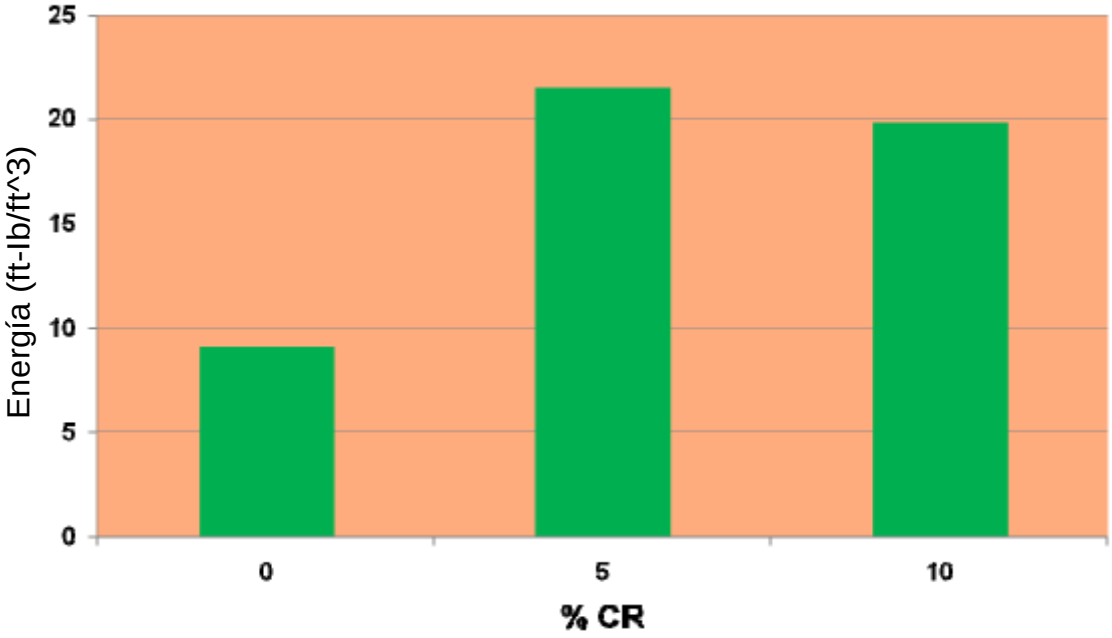


Figura 14. Energía Disipada o Dureza versus Porcentaje de Caucho Triturado

Biel et.al. (1996) evaluaron el cemento Pórtland (PCC) y cemento de oxicloruro de magnesio (MOC) como aglomerantes. Se usó caucho de neumático de desecho de 1/8 pulgadas que incluía acero y fibras del proceso de desmenuzado. Reemplazaron 0 a 90% de agregado fino con partículas de neumático por volumen, añadiendo 0 a 25% de partículas de neumático en la mezcla de hormigón. Se uso una relación agua/cemento de 0,46 para obtener un grumo de 1 a 2 pulgadas. Los siguientes gráficos muestran los resultados para la resistencia comprimida y la resistencia tensil de cilindro partido.

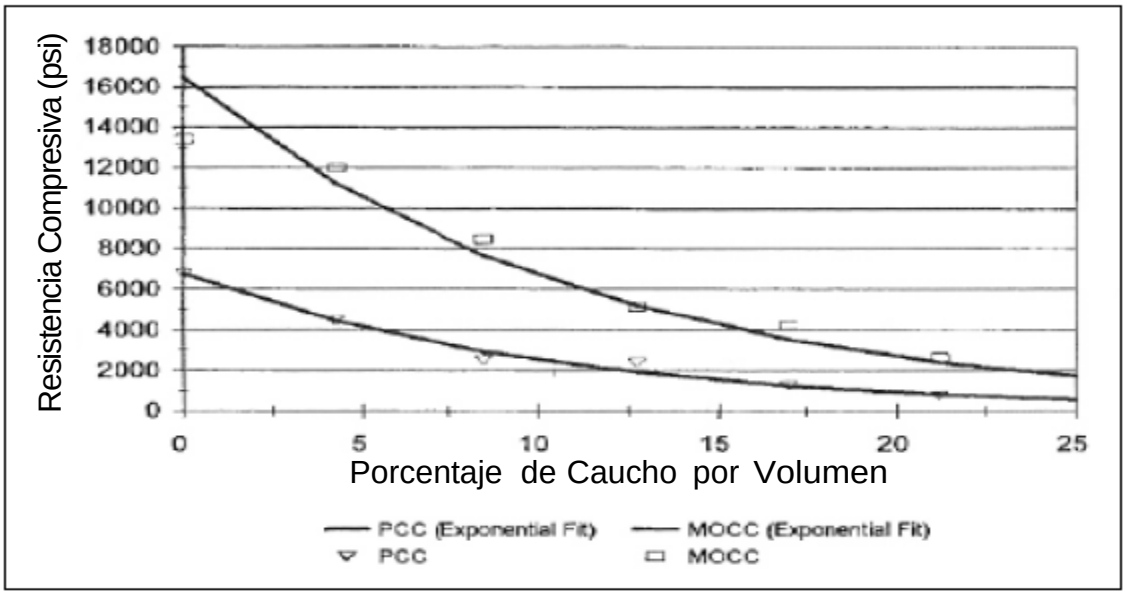


Figura 15. Resistencia Comprimida versus Porcentaje de Caucho por Volumen

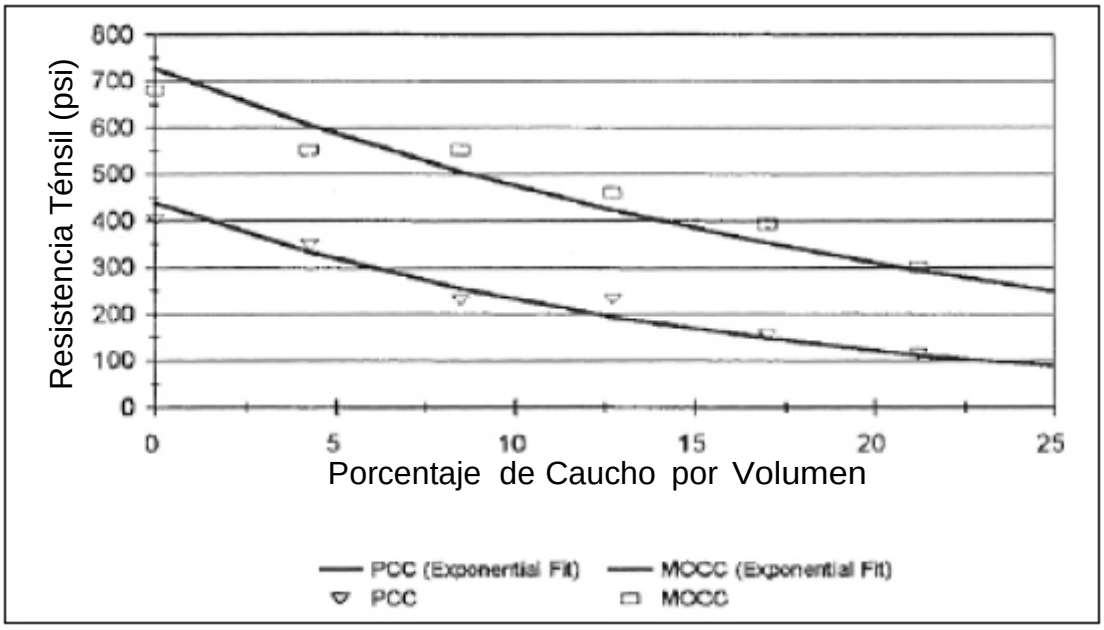


Figura 16. Resistencia Tensil versus Porcentaje de Caucho por Volumen

Como se esperaba, la resistencia comprimida y la tensil disminuyen a mayor contenido de caucho. Kaloush et.al. (2004) informaron un menor fallo catastrófico para la prueba de cilindro partido con la inclusión de caucho en la mezcla. Las siguientes fotos ilustran este efecto:

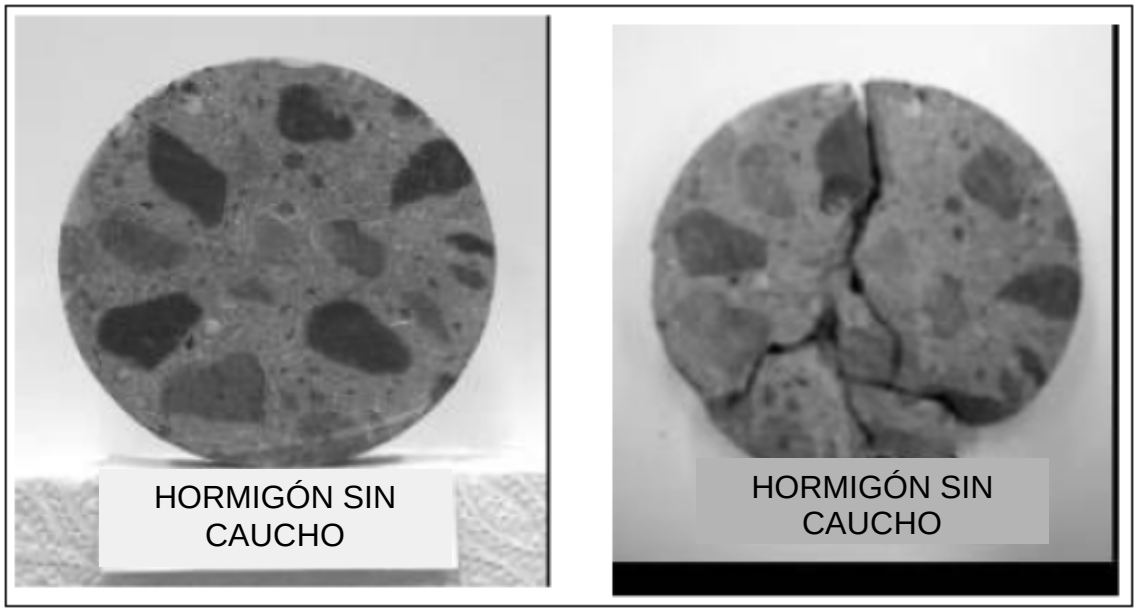


Figura 17. Prueba de Cilindro Partido con Hormigón Normal

Figura 18. Prueba de Cilindro Partido con 400 libras de Caucho por Yarda Cúbica de Hormigón

Nótese la “desintegración” del espécimen de hormigón normal comparado con el fallo más suave del hormigón de 400 libras/yarda cúbica.

Para que el RIC funcione con acero reforzado, debe tener un coeficiente de expansión térmica similar al del acero reforzado que es 6.5x10-6 pulgada/pulgada por oF. El peso ordinario del hormigón normal varia de 4 a 7, con un valor aceptado de 5,5 x 10-6 pul/pul por oF. Kaloush informa el siguiente coeficiente de datos de expansión térmica (en unidades métricas) para el calentamiento y enfriamiento de los especímenes de hormigón con diferentes contenidos de caucho en la Figura 19:

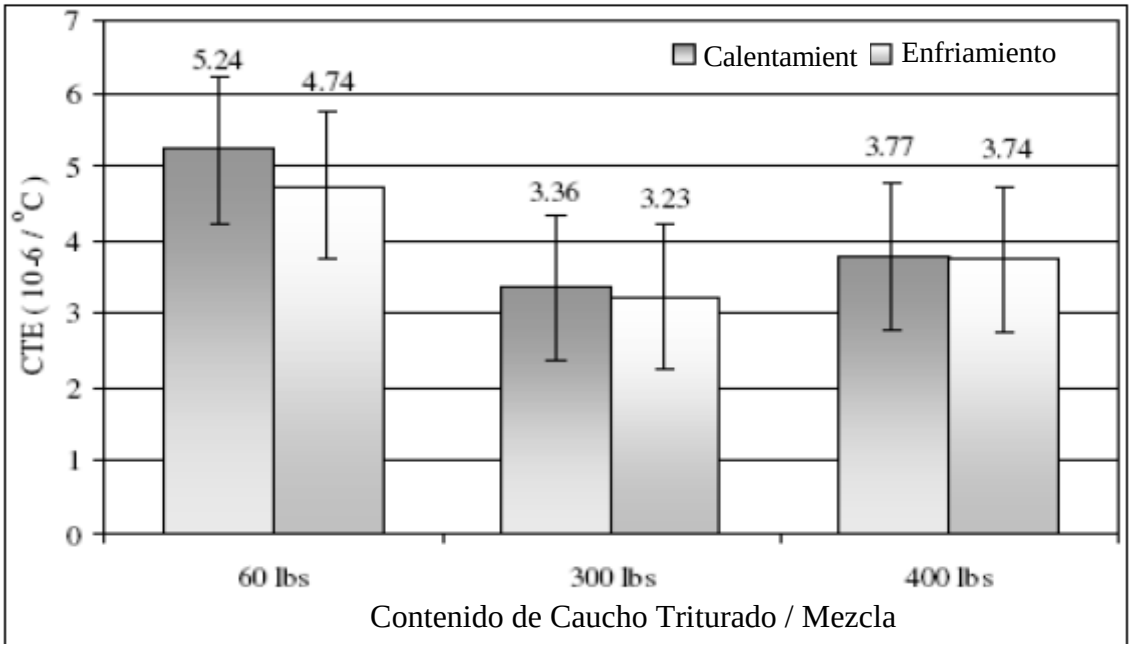


Figura 19. Coeficiente de Expansión Térmica para el Hormigón Engomado Incluido

Aunque la literatura contiene mucha más investigación sobre esta y otras propiedades del hormigón engomado incluido, la discusión se centrara ahora en el ejercicio de laboratorio con RIC que realizarán los estudiantes.

4.0 Ejercicio de Laboratorio

El principal objetivo de este ejercicio de laboratorio es introducir a los estudiantes al uso de material no tradicional (como los productos de neumáticos de desecho) en la fabricación de hormigón de cemento Pórtland. Deberían lograr comprender cómo y por qué se alteran las propiedades mecánicas del hormigón resultante. Finalmente, se les enseña como diferentes investigadores enfrentaron el problema, en términos de los materiales de neumático de desecho utilizados, filosofía de diseño de mezcla y métodos de tratamiento. Deberían asimilar cuán difícil es comparar y utilizar los resultados de esta investigación para aplicaciones específicas. Primero, se presenta una discusión de los problemas de diseño de mezcla, seguida por los efectos de añadir caucho de neumáticos de desecho en la mezcla de hormigón plástico (antes de que endurezca) y las propiedades mecánicas del hormigón endurecido.

El diseño de mezcla debe basarse en un método de volumen absoluto, reemplazando el agregado material con partículas de neumático de características similares de tamaño (granulometría). Esto se consigue usando la gravedad específica de los agregados. La gravedad específica del peso normal del agregado mineral está en el orden de 2,6 a 2,7, mientras que para las partículas de neumáticos de desecho el rango es de 1 a 1,2. Esto resulta en un peso mucho menor de los agregados y la correspondiente caída en la unidad de peso del hormigón a mayor contenido de caucho en la mezcla. Si no se sigue este procedimiento (es decir, si no se añade el caucho por peso), el hormigón resultante tendrá agregado más fino y grueso por volumen en la mezcla lo que tiene un efecto de deterioro para la calidad de la mezcla de hormigón y sus propiedades mecánicas resultantes.

Los parámetros necesarios para completar el diseño de mezcla al reemplazar el agregado con tamaños similares a las partículas de neumático de desecho incluyen:

- Tipos de partículas de caucho, diferentes investigadores usan diferentes tipos de productos de neumáticos de desecho desde el caucho triturado fino hasta hilos de neumático con acero y bandas de poliéster.
- El tamaño de las partículas de caucho y agregado, generalmente se quiere reemplazar el agregado grueso o fino con partículas de neumático con características de tamaño similar.
- La gradación de las partículas de caucho, las partículas de caucho como el caucho triturado y el pulido de neumático usado en este laboratorio suelen tener granulometría uniforme, lo que significa que tienen aproximadamente el mismo tamaño de partículas. El hormigón barato requiere un agregado con buena gradación para obtener un empaquetamiento denso de las partículas de material baratas en la mezcla de hormigón.
- La gravedad específica de las partículas de caucho está en un rango de 1 a 1,2 para los productos de neumático desecho mientras que los agregados minerales tienen un rango típico de 2,6 a 2,7.
- El módulo de fineza para el agregado fino tiene ciertos límites según lo dispuesto por ASTM. El módulo de fineza normalmente influye en la maleabilidad de la mezcla de hormigón.
- La capacidad de absorción de las partículas de caucho influye en la cantidad de agua de la mezcla añadida al hormigón durante la producción. Si los agregados no están en una condición de “superficie seca saturada” (SSD), el agua de la mezcla puede filtrarse o fluir hacia el hormigón alterando la relación agua-cemento.
- El contenido de caucho para la mezcla tiene que determinarse dependiendo de las características que el diseñador este estudiando o intente obtener.
- La relación agua-cemento, siempre tiene una gran influencia no solamente en la maleabilidad de la mezcla de hormigón, sino también las propiedades mecánicas resultantes.

Nótense los muchos y diferentes tipos de caucho usado y las diferentes formas en que se calcula las proporciones de mezcla. El diseño de mezcla debería ser proporcionado por volumen, y este es el enfoque que se ha adoptado en el laboratorio de diseño de mezcla. Implica reemplazar el agregado fino y grueso con caucho triturado fino y grueso por volumen; es decir, en proporción a la gravedad específica del caucho triturado con el agregado mineral. Esto debería mantener los volúmenes de los agregados a proporciones relativamente similares, lo que resulta en una maleabilidad similar para una relación cemento/agua dada. Sin embargo, se espera que aumente el contenido de aire al tiempo que aumenta el contenido de caucho triturado.

Para completar una mezcla de diseño con material no tradicional, deben establecerse varias propiedades materiales, incluyendo:

- Gradación (normalmente de granulometría uniforme)
- Gravedad Específica
- Capacidad de Absorción
- Peso Unitario

Para este volumen, el caucho triturado se usa para reemplazar un porcentaje (10, 20 y 30% por volumen) del agregado mineral fino y los pulidos de neumático se usaran para los mismos porcentajes que el agregado grueso.

Figura 20. Foto de una Muestra de Caucho Triturado por los Estudiantes de CSUC

El caucho triturado, que era casi todo caucho negro, tenía un tamaño de partículas de alrededor de 2 a 4 mm, y la gradación fue uniforme como se muestra en el grafico de distribución del tamaño de grano de abajo:

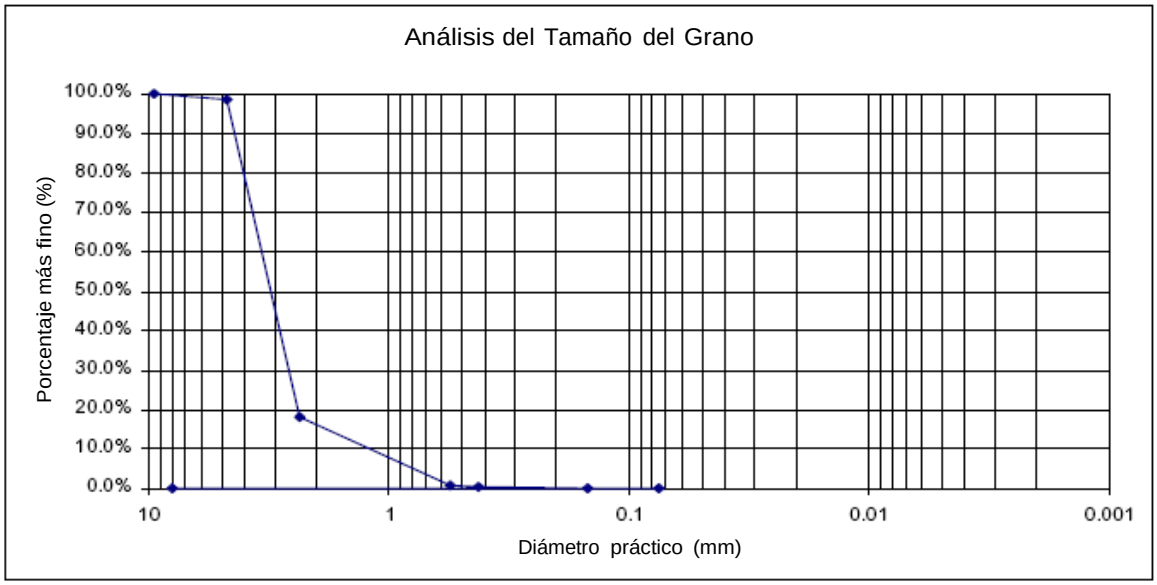


Figura 21. Curva de Distribución del Tamaño de Partículas del Caucho Triturado Usado en el Laboratorio de Estudiantes CSUC

Figura 22. Fotos de Pulidos de Neumáticos Usados en el Laboratorio Estudiantil

Los pulidos de neumático, que contenían algunas bandas de poliéster, con un tamaño de partículas que van desde 10 a 20 mm se muestran en la siguiente figura.

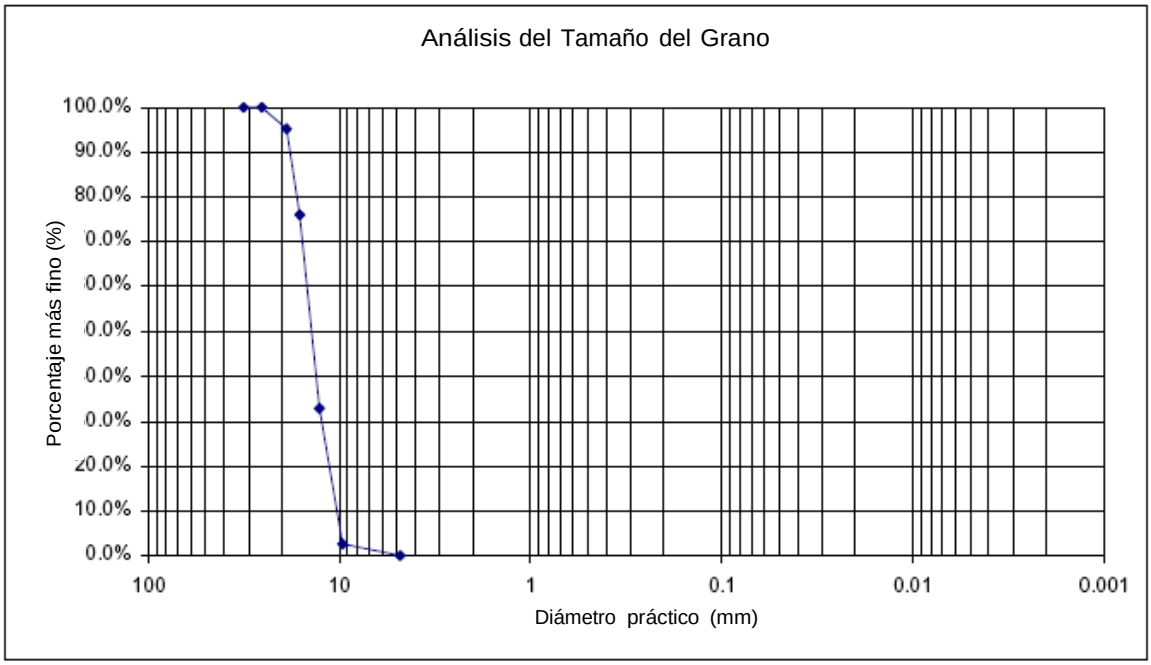


Figura 23. Curva de distribución del tamaño de partículas del pulido de neumático usado en el laboratorio de estudiantes CSUC

Se necesitan las gravedades específicas y las capacidades de absorción para el caucho de neumático triturado para completar un diseño de mezcla volumétrico. Estos valores deben haberse obtenido en una actividad de laboratorio anterior donde estos valores se determinaban típicamente para el agregado mineral. Las gravedades específicas informadas en la literatura (siguiente Tabla, según Humphrey, 2003) va de 1,02 a 1,27, con los valores más altos están asociados a hilos de neumático con un porcentaje más alto de bandas de acero en las partículas. A falta de datos de laboratorio, una gravedad específica fue escogida por ambos tipos de partículas de caucho. La capacidad de absorción informada en la literatura suele variar entre 2 a 4,3%, y se puede suponer un valor o el estudiante podría pre-sumergir el agregado y prepararlo en condiciones de superficie seca saturada según los procedimientos de laboratorio estándar.

Como ejemplo del diseño de mezcla de hormigón, se patentó el siguiente diseño de mezcla para uso de productos de neumáticos de desecho en la fabricación de hormigón de cemento Pórtland:

- 100 partes por peso de cemento
- 100-200 partes por peso de arena
- 200-400 partes de peso de agregados gruesos
- 15-30 partes por peso de partículas desmenuzadas con caucho, fibras y acero obtenido de neumáticos de desecho enteros
- 20-70 partes por peso de agua
- Ceniza volante
- Super plastificante

Tabla 2. Gravedad específica de varios productos de neumáticos de desecho

Hilos de neumático	Gravedad específica			Agua	Referencia
Tipo	Masa	Superficie seca saturada	Aparente	Capacidad de absorción (%)	
Vidrio cinturado	--	--	1.14	3.8	Humphrey et al. (1992)
Vidrio cinturado	0.98	1.02	1.02	4	Manion & Humphrey (1992)
Acero cinturado	1.06	1.01	1.10	4	Manion & Humphrey (1992)
Amalgama	1.06	1.16	1.18	9.5	Bressette (1984)
Amalgama (Pine State)	--	--	1.24	2	Humphrey et al. (1992)

Mezcla (Palmer)	--	--	1.27	2	Humphrey et al. (1992)
Mezcla (Sawyer)	--	--	1.23	4.3	Humphrey et al. (1992)
Amalgama	1.01	1.05	1.05	4	Manion & Humphrey (1992)
Amalgama	--	0.88 a 1.13	--	--	Ahmed (1993)

Esta es una especificación para diseño de mezcla bastante genérico, pero es interesante que alguien haya conseguido una patente a razón de la misma.

Esta actividad de laboratorio es requerida por todos los programas superiores de ingeniería civil como parte de una clase básica de cuatro unidades (tres horas de clase, tres horas de laboratorio cada semana) sobre diseño de hormigón reforzado en CSU, Chico. Se asignó a los estudiantes en cada una de las secciones de laboratorio distintas relaciones de cemento/agua de 0,4, 0,55 y 0,7 (un valor para cada grupo de laboratorio). A cada uno de los tres laboratorios se les asignó un porcentaje de caucho diferente: 10, 20 y 20% por volumen Esto dio como resultado nueve grupos de datos distintos que varían en la relación de cemento y agua y en los contenidos de caucho de neumático. Todos los grupos de laboratorio reemplazaron el agregado fino por caucho triturado, y el agregado grueso con pulidos de caucho por volumen por el porcentaje asignado suponiendo un gravedad específica de 1 para el caucho de neumático.

El objetivo de la actividad de laboratorio era que los estudiantes estudiaran los efectos de añadir partículas de neumático a su mezcla asignada. Se les pidió que determinarán los efectos de añadir partículas de neumático de desecho sobre lo siguiente:

- Resistencia comprimida
- Módulo de elasticidad
- Índice de Poisson
- Contenido de Aire
- Comentar su maleabilidad/segregación

Los resultados de la actividad de laboratorio se resumen en la presentación power point sobre el hormigón, y aquí solo se incluyen observaciones generales. Los resultados de los datos de laboratorio fueron coherentes en general con los hallazgos de la literatura; sin embargo, los grupos de datos están incompletos porque se asignó el mismo diseño de mezcla que se dio en clase para el laboratorio normal de hormigón y algunos grupos de

laboratorio no registraron esos resultados. Asimismo, el compresómetro usado empleaba sondas de dial analógicas para medir la deformación axial y transversal, lo que no entrego resultados útiles en muchos grupos de laboratorio. Para capturar datos significativos, se recomienda que se usen sondas de dial digital junto con un sistema de adquisición de datos por computador para registrar las deformaciones axiales y transversales y los datos de carga pueden recopilarse con una célula de carga.

Figura 24. Instalación del compresómetro para la muestra de hormigón engomado incluido

5.0 Resumen y Recomendaciones

Se ha realizado una cantidad considerable de investigación sobre el uso de partículas de neumáticos de desecho en el hormigón de cemento Pórtland. Se ha demostrado que la resistencia comprimida y la rigidez del hormigón disminuyen dramáticamente al aumentar el contenido de caucho. Sin embargo, también se ha demostrado que la deformación por tracción, la ductilidad y la dureza aumentan con pequeñas cantidades de partículas de caucho en la mezcla. Se preparó un ejercicio de laboratorio para presentar a los estudiantes los problemas relacionados con el uso de material reciclado no tradicional, en este caso productos de neumáticos de desecho, en la fabricación de hormigón de cemento Pórtland. Se pidió a los estudiantes que evaluarán el procedimiento de diseño de mezcla adecuado y los efectos de añadir partículas de neumático para algunas de las propiedades mecánicas del hormigón resultante.

Actualmente no existen muchas aplicaciones comerciales para el uso de productos de neumático de desecho con hormigón. Las posibles aplicaciones incluyen pavimentación de servicio ligero (carreteras, etc.) donde puede ser deseable un hormigón más débil y más flexible. El caucho triturado o migas de caucho finas pueden ser un buen sustituto para agentes que integran aire en aplicaciones donde el hormigón es sometido a ciclos

repetidos de congelación y deshielo con el fin de aumentar la durabilidad del hormigón. El hormigón engomado incluido, de una forma u otra, puede tener algunas aplicaciones interesantes donde se requiere absorber energía. Las potenciales aplicaciones incluyen mitigar la vibración de cargas móviles (maquinaria vibratoria y cargas móviles (Tráfico vehicular) y absorción de energía de terremotos y sonido. Puede haber otras aplicaciones emergentes que pueden aprovechar las características únicas del hormigón engomado incluido.

Se requieren más estudios para establecer las aplicaciones comerciales del hormigón engomado incluido. Es necesario construir y evaluar más proyectos a escala piloto que usen las propiedades únicas del hormigón engomado. Puede ser necesario establecer algún incentivo o requisito legal para fomentar el desarrollo de estas aplicaciones. Se deberían reciclar potencialmente suficientes neumáticos de desecho para hacer de las aplicaciones de hormigón una alternativa viable.

6.0 Referencias

1. Dana Humpherey. Civil Engineering Applications Using Tire Derived Aggregate.[Aplicaciones de ingeniería civil usando agregados derivados del neumático] Patrocinado por: California Integrated Waste Management Board - CIWMB
2. Kamil E. Kaloush, Properties of Crumb Rubber [propiedades del caucho triturado] Arizona State University ,Department of Civil and Environmental Engineering
3. David Fedroff, Shuaib Ahmad y Banu Zeynep Savas Mechanical Properties of Concrete with Ground Waste Tire Rubber [Propiedades mecánicas del hormigón engomado triturado de neumáticos de desecho].
4. Z. Li, F. Li, and J. S. Properties of Concrete Incorporatign Rubber Tyre Particles [propiedades del hormigón con partículas de caucho de neumático]. Magazine of concrete Research, 1998, 50, No. 4, Dec., 297-304
5. Uso de caucho de desecho en pavimentos de hormigón para uso ligero o Use of Waste Rubber in Light-Dudy Concrete Pavements Richard R. Shimizze, S.M.ASCE, James K. Nelson, M.ASCE, Serji N. Amirkhanian, M.ASCE y John A. Merden, A.M. ASCE.
6. Neil N. Eldin, Ahmed B. Senouci. Rubber-Tire particles as Concrete Aggregate [partículas de caucho de neumático como agregado de hormigón]. Journal of Materials in Civil Engineering, 5 (1993) 478-96.
7. Comportamiento casi-elástico del hormigón engomado incluido RIC usando caucho de neumáticos de desecho o Quasi-Elastic Behavior of Rubber Included Concrete (RIC) Using Waste Rubber Tires Michael W. Tantala, University of Pennsylvania, John A Lepore, Ph.D., P.E, University of Pennsylvania, Iraj Zandi, Ph.D., P.E., University of Pennsylvania, Philadelphia, Pennsylvania, USA.

8. Biel, T.D., and H. Lee. Use of Recycled Tire Rubbers in Concrete [uso de caucho de neumático reciclado en hormigón]. Infraestructura: Nuevos materiales y métodos de reparación. conclusiones de la tercera conferencia sobre materiales para ingeniería Proceedings of the Third Materials Engineering Conference, San Diego, 1994, 351-358

CIVIL 431 Ingeniería Medioambiental

Problemas Medioambientales de los Neumáticos de Desecho en Ingeniería Civil o Environmental Issues of Waste Tires in Civil Engineering

1.0 Introducción

Este capítulo fue preparado para la clase CIVIL 402 de ingeniería medioambiental. Aborda cómo los neumáticos de desecho pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente, especialmente los centros de acopio y los incendios de neumático. También cubre algunas aplicaciones de ingeniería civil de los neumáticos de desecho y cómo su uso puede afectar el medio ambiente. También incluye alguna investigación sobre evaluación medioambiental usando evaluaciones de laboratorio y estudios sobre el terreno. Finalmente, termina con algunas recomendaciones para el uso de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil.

A nivel nacional, hay una media de un neumático de desecho por persona en los Estados Unidos y se generan alrededor de 300 millones de neumáticos de desecho cada año. La figura 1 muestra la tendencia de mercado para los neumáticos de desecho. Como puede verse, durante los últimos 20 años cada vez se utilizan mas neumáticos de desecho (RMA, 2006). Las dos inquietudes más importantes de este problema son la acumulación de neumáticos de desecho y los incendios de neumático. La figura 2 muestra la cantidad de neumáticos de desecho acumulados que se han ido reduciendo con los años.

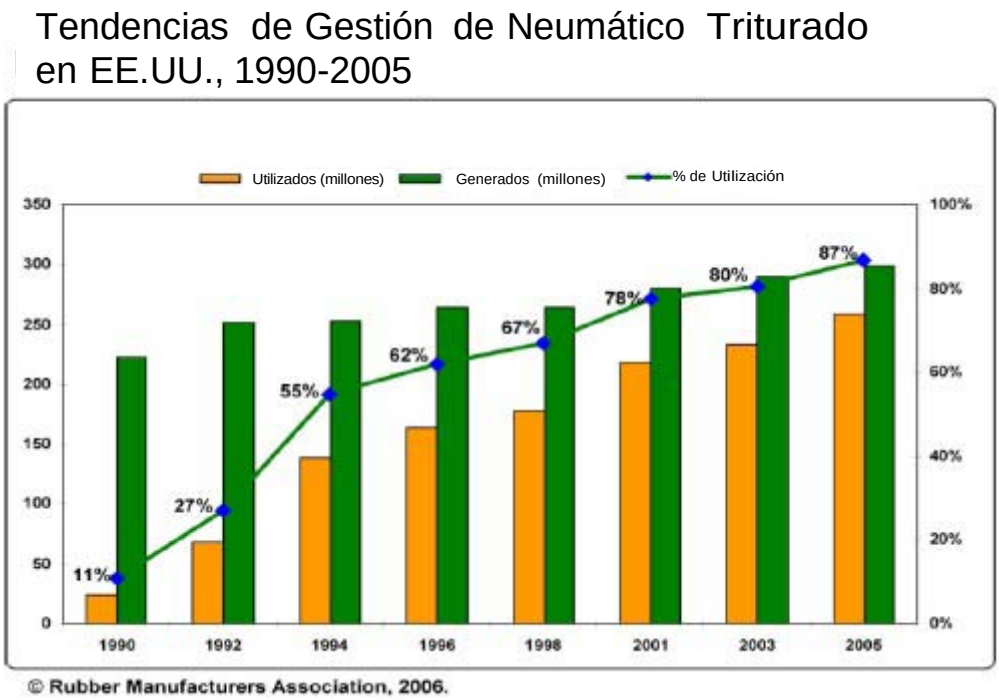


Figura 1. Neumáticos de Desecho y Tendencias de Uso

Millones de Neumáticos Desechados Siguen Acumulándose en Montones en los EE.UU., 1990-2005

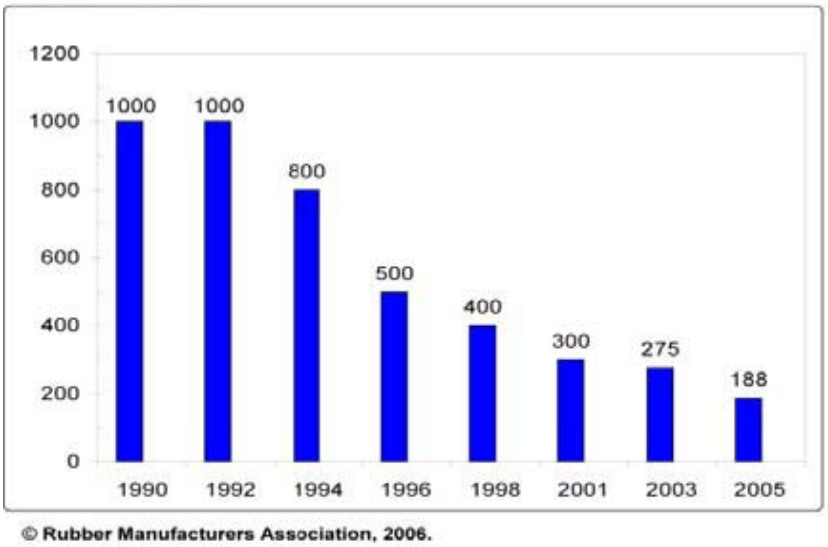


Figura 2. Cantidad de Neumáticos de Desecho que Siguen en las Bodegas de EE.UU.

Los incendios de neumáticos pueden ser una pesadilla para el medio ambiente, debido a las toxinas que se liberan al aire y también al suelo que llegan finalmente al agua subterránea. El contenido de energía de un neumático normal de vehículo de pasajero es el equivalente a dos galones de petróleo, así que sólo hay que imaginarse un incendio de neumáticos donde arden millones de galones. Los incendios de neumáticos liberan metales pesados y otros compuestos peligrosos que se filtran a los arroyos y a los pozos superficiales tales como el arsénico, cromo, plomo, manganeso, níquel, mercurio, cadmio y aceite pirolítico. La Figura 3 muestra una foto de un incendio de neumáticos en Westley, California en 1999. Ardió durante tres meses, tardo siete años en limpiarse y coste unos 20 millones de dólares.

Figura 3: Incendio de Neumáticos en Westley, California

Los agregados derivados de neumáticos (TDA, por sus siglas en inglés) fabricados a partir de neumáticos despedazados poseen algunas propiedades de ingeniería útiles que los ingenieros civiles pueden necesitar. En general, las aplicaciones de ingeniería civil que usan neumáticos de desecho incluyen relleno ligero, relleno posterior para muros de contención, relleno para cementación y reparación de pendientes, capa de aislamiento de subsuelo, aplicaciones de vertedero, campo de drenaje de sistemas sépticos y mitigación de la vibración. Los neumáticos de desecho usados en aplicaciones de ingeniería civil miden entre dos a doce pulgadas, pesan hasta ½ del peso unitario del suelo, y una yarda cúbica de TDA compactada contiene aproximadamente el equivalente a 75 neumáticos para vehículos de pasajeros. Los neumáticos de desecho drenan 10 veces más rápido que el suelo de buena gradación, su aislamiento es ocho veces mejor que la proporcionada por la gravilla y la presión lateral sobre un muro de cimientos es ½ del suelo. Pero con las aplicaciones en ingeniería civil, han surgido algunas inquietudes medioambientales sobre el uso de neumáticos de desecho tales como contaminación del agua subterránea, peligro de incendios y desempeño a largo plazo. La gente debe conocer los resultados de laboratorio así como los resultados de las pruebas sobre el terreno.

2.0 Prueba de Laboratorio Sobre el Impacto Medioambiental de los TDA

Las pruebas de laboratorio realizadas sobre el Lixiviado de neumáticos incluyen Procedimiento de caracterización de toxicidad del Lixiviado (TCLP) y la toxicidad del procedimiento de extracción (EP Tox). Los neumáticos de desecho se suelen pre-cortar a un tamaño especifico y se sumergen en diferentes soluciones, y después de analiza el Lixiviado. Las pruebas de laboratorio pueden usarse como indicador de los tipos de contaminantes que puede producir un neumático desechado.

Los resultados de la agencia de control de la contaminación de Minnesota hallaron que ninguna de las muestras de laboratorio de Lixiviado supero el criterio de toxicidad de la EPA ni el criterio TCLP. En algunas muestras y para algunas condiciones de lixiviado, los contenidos de arsénico, cadmio, cromito, selenio y zinc superaron los límites permisibles recomendados (RAL, por sus siglas en inglés) fijadas por el departamento de salud de Minessota para el agua potable. Como se muestra en la Figura 4, se encontraron rastros de metales para la solución acídica (valor de ph bajo) y se detectaron aceites de hidrocarburos para las soluciones básicas (valor de ph alto). El estudio recomienda que el uso de neumáticos de desecho en la construcción de carreteras se limitara a la zona no saturada. El diseño de carretera debería limitar la infiltración de agua a través de los neumáticos de desecho y debería promover el drenaje del agua de superficie hacia un lugar alejado del subsuelo con neumáticos de desecho.

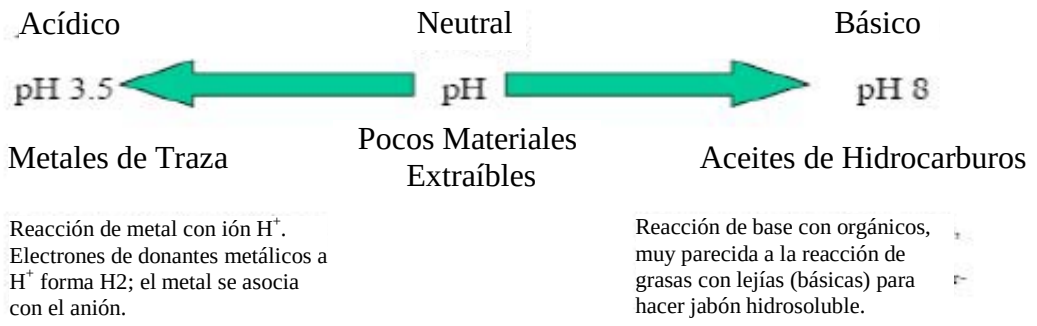


Figura 4: Los hallazgos de la agencia de control de la polución de Minnesota acerca de lo que los neumáticos de desecho liberan al suelo después de haber sido expuestos a varios ácidos y bases.

El informe final del departamento de transportes de Virginia sobre materiales de Lixiviado en neumáticos de desecho estaba formado por dos partes: un año de lixiviado y pruebas TCLP El lixiviado de dos semanas resultó en un Lixiviado que es aproximadamente siete veces más concentrado que los extractos normales de TCLP. Sin embargo, un lixiviado más fuerte puede ser total o parcialmente compensado por el uso de partículas más grandes que las que requiere el método. Las concentraciones de metales en el lixiviado estaban bastante por debajo de los límites reglamentarios de TCLP.

El estudio del Departamento de Illinois de recursos naturales y energéticos se realizó con neumáticos despedazados que fueron sometidos a pruebas de toxicidad EP por los laboratorios DTC Inc,. En sus resultados, los niveles de compuestos orgánicos analizados estuvieron por debajo de los límites de detección en todos los casos. Ninguno de los metales superó los límites de toxicidad EP para la prueba EP Tox. Todos los resultados de laboratorio con distintas condiciones de lixiviado demostraron que las concentraciones de metales más altas tienden a aparecer en condiciones de menor ph (acídico). Los niveles más altos de compuestos orgánicos se presentan en condiciones de ph alto (básico). Tanto los componentes metálicos como los orgánicos estaban muy por debajo de los estándares TCLP y los estándares EP. En total, estas pruebas de laboratorio indican que los neumáticos de desecho no son residuos peligrosos.

3.0 Pruebas Sobre el Terreno Sobre el Impacto Medioambiental de los TDA

En los estudios sobre el terreno, los neumáticos de desecho se cortaron en distintos tamaños y se usaron en posiciones designadas en la carretera. Se obtuvieron muestras de tierra y agua en varias oportunidades. Se estudio el impacto de los neumáticos de desecho en el medio ambiente. Los estudios sobre el terreno para aplicaciones con neumáticos de desecho mostraron los impactos a la atmósfera liberando compuestos orgánicos volátiles y semi volátiles (VOC y SVOC, por sus siglas en inglés) al calentarse. Sin embargo, son iguales o menos que los del asfalto. La liberación de toxinas al aire disminuye una vez que el caucho asfáltico se enfría a la temperatura de servicio. Las migas de neumáticos también pueden liberar alergenos de látex, pero en cantidades manejables. Los estudios sobre el terreno de la agencia de control de la contaminación de Minnesota no han identificado diferencias significativas entre las áreas de neumático de desecho y las áreas de control para suelo de muestra y para un estudio biológico. No se descubrieron rastros

de los materiales extraídos encontrados en las pruebas de laboratorio previas en condiciones de ph extremo. Los estudios sobre el terreno del departamento de Geología de Kent State University mostraron que las mezclas de suelo y neumático puede usarse de forma segura como material de relleno ligero y en situaciones donde se requiera mejorar las características de drenaje.

También se realizaron estudios sobre el terreno para detectar el impacto de neumáticos de desecho en el agua. Los estudios muestran cuando se considera el impacto de los neumáticos de desecho en el agua, tradicionalmente se suelen considerar tres ubicaciones de las migas de neumático

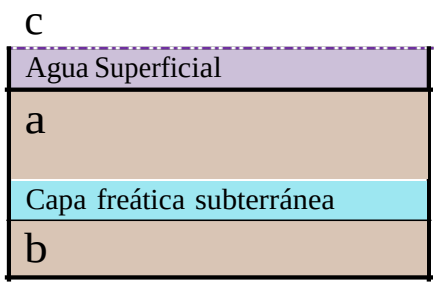


Figura 5: a: capa freática sobre superficie, b: capa freática subterránea, c: agua superficial

El estudio realizado por el Departamento de transportes de Wisconsin demostró que hay poca o ninguna probabilidad de que las migas de neumático produzcan un lixiviado importante de sustancias que supongan un peligro para la salud pública como el plomo o el bario. Los niveles de plomo, zinc, y manganeso fueron elevados. Chenette Engineering Inc. instaló neumáticos desmenuzados que se usaron en lugar de piedra triturada en un reemplazo del lugar de depósito sobre el terreno. Este sistema se instaló en diciembre de 1991 y se informó de los resultados del seguimiento a dos años en 1993. Como se había anticipado, los niveles de hierro y plomo fueron altos al principio, pero las concentraciones de ambos metales disminuyeron rápidamente por debajo de los estándares de Vermont para aguas subterráneas. En el estudio realizado por la Universidad de Maine, mejoraron el sistema de monitoreo con el uso de algunos pozos de control. No hubo prueba de que las migas de neumático aumentaran el nivel de sustancias por sobre el nivel del estándar principal para agua potable. No hubo evidencia de que las migas de neumático aumentarán los niveles de aluminio, zinc, cloro o sulfato, que están incluidos en los estándares secundarios (estéticos) para agua potable. En algunos casos los niveles de hierro y magnesio pueden superar los estándares secundarios. Los resultados estuvieron bajo los límites de detección para todos los compuestos.

Bajo la capa freática había niveles elevados de concentración de hierro en tres sitios. Dentro de la zanja de miga de neumático, el contenido de hierro fue de una magnitud hasta dos veces más alta que el estándar secundario para agua potable. No pareció que el

hierro se hubiese filtrado hacia abajo en ninguno de los sitios. El contenido de manganeso también aumento con las migas de neumático. Los niveles de manganeso superaron regularmente el estándar secundario de agua potable en el pozo de prueba dentro de la trinchera de miga de neumático. A diferencia del hierro, sí se observó que el manganeso se filtraba hacia al flujo de aguas subterráneas. El contenido de zinc también aumentó con las instalaciones de miga de neumático; sin embargo, la concentración estuvo muy por debajo del estándar para agua potable. También aumentaron las concentraciones de cromo por la presencia de las migas de neumático, pero solamente en el sitio de turba. Los niveles de cromo estuvieron siempre por debajo del estándar principal para agua potable. Los niveles de hierro superaron el nivel permitido recomendable (RAL). Sin embargo, considerando que el hierro es un elemento secundario permisible en el agua potable, no supone problemas graves para el medioambiente. Entre otros compuestos metálicos y orgánicos, parece haber alguna discrepancia; esto puede depender de las condiciones locales de ph del suelo, las condiciones de infiltración del agua y otros factores del suelo. Se debería establecer un contenido máximo permisible de acero para el caucho de neumático reciclado.

4.0 Otros Estudios

4.1 Estudio de Impacto Biológico de los TDA

En un estudio biológico realizado por la agencia de control de la contaminación de Minnesota, se encontró que no había diferencias observables en ninguna de las zonas de estudio al compararlas con las zonas de control. Las pruebas de característica de toxicidad (TCT) concluyeron que los estudios biológicos futuros seguramente no indicarían diferencias detectables en los sitios de neumático en comparación con los sitios de control.

4.2 Estudio de Toxicidad de los TDA

En un estudio de toxicidad realizado en 1994, Aberneth descubrió que los niveles de zinc estuvieron entre 0.023~0.025 mg/l, lo que es coherente con la composición química de los neumáticos. También en 1994, Nelson halló que el zinc estaba a presenta niveles potencialmente tóxicos. También había presencia de cadmio, cobre y plomo a niveles significativamente superiores que el de los sitios de base.

5.0 Conclusiones

De los estudios anteriores se pueden extraer algunas conclusiones:

- Normalmente, la goma reciclada derivada de neumático triturado es un material reciclable seguro.
- Una inquietud frecuente es que los niveles de hierro y magnesio suelen ser elevados. Estos elementos se especifican en la norma estándar secundaria para agua potable basada en razones estéticas, por ejemplo el gusto.
- Los niveles de contaminantes metálicos tienden a aumentar en condiciones de ph bajo, mientras que el nivel de compuestos orgánicos aumentan cuando el valor ph es alto.
- Generalmente, es razonable recomendar el uso de neumáticos de desecho reciclados en aplicaciones de ingeniería civil.

- Es importante reconocer que el impacto del neumático triturado en el medio ambiente varía de acuerdo a las condiciones del terreno y del agua en el lugar, especialmente los valores Ph.

En conclusión, algunos de los beneficios de usar neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil incluyen que evita la generación de residuos y la contaminación, ahorra dinero a través de la prevención del acopio de neumáticos de desecho, crea nuevas industrias de reciclaje y reduce la eliminación y expansión de vertederos.

6.0 Referencias

1. ASTM D297 - 93 (re-aprobada en 2002). Standard Rubber Test Method for Rubber Product: Chemical Analysis. (Método de prueba estándar de caucho para productos de caucho: análisis químico 2002.) 2002.
2. Elding, W., Final Report on Leachable Metal in Scrap Tires [informe final sobre metales Lixiviados en neumáticos de desecho]. 1992.
3. Humphrey, D.N. and Swett, M. Literature Review of Water Quality Effects of Tire Derived Aggregates and Rubberized Asphalt Concret [revisión de efectos en la calidad del agua de los agregados derivados de neumático y el hormigón asfáltico engomado]. November, 2006.
4. Zaliber, J.L., Leachate from Scrap Tires: RMA TCLP Report [Lixiviado de neumáticos de desecho, informe RMA TCLP]. September, 1991.

CIVIL 441 Ingeniería de Transportes

Hormigón Asfáltico Engomado en Ingeniería de Transportes

1.0 Introducción

A medida que las civilizaciones evolucionan también cambian los problemas que deben enfrentar las sociedades. Hemos entrado a una era en la que se ha dedicado mucho tiempo y consideración a entender cómo nuestras acciones afectan no solo a la gente sino al medio ambiente y la tierra en general. La profesión de ingeniería civil se ha desviado de usar materiales estrictamente tradicionales en su diseño a incorporar materiales verdes en el diseño y construcción de proyectos.

Esta clase incluye cuatro módulos sobre el uso de neumáticos de desecho como el modificador de caucho triturado, a saber caucho asfáltico para mejorar el desempeño de los materiales asfálticos para pavimentación. En el primer módulo, se presenta a los estudiantes el concepto de caucho asfáltico y su historia de uso que empieza en la década de 1960 hasta la fecha. La experiencia de Caltrans con el caucho asfáltico también será abordada, así como los beneficios de usar caucho asfáltico en aplicaciones de transporte. El segundo módulo introduce a los estudiantes la terminología y prácticas utilizadas por Caltrans con relación al caucho asfáltico. Hache se informara a los estudiantes sobre los métodos y prácticas de Caltrans para revestimientos de caucho asfáltico en rehabilitación estructural sobre pavimentos deteriorados. El tercer módulo habla acerca de los aspectos de construcción del caucho asfáltico. Se ofrecerá un panorama general del proceso de construcción a los estudiantes, empezando con la preparación de superficie a su colocación y compactación. El éxito de usar el caucho asfáltico depende en gran medida de los métodos y técnicas de construcción apropiados, por lo que se destacaran los factores importantes. Se presentará a los estudiantes el proceso de fabricación de caucho asfáltico desde la planta hasta el lugar de trabajo.

Debido a la necesidad de usar las prácticas y técnicas adecuadas para lograr una buena aplicación del caucho asfáltico, se presentará al estudiante un módulo de inspección. El cuarto módulo comienza con la descripción del proceso de modificar el aglomerante para crear el caucho asfáltico. Se enseña a los estudiantes como controlar la producción de aglomerante y analizar los resultados para su verificación y aceptación. La aplicación efectiva depende de la temperatura, por lo que se establecerán normas de temperatura para los estudiantes. Se presentarán las orientaciones para inspección del sitio de pavimentación durante todo el proceso de pavimentación.

1.1 Objetivos

Los objetivos de este plan de lección es introducir a los estudiantes cómo usar el caucho asfáltico (AR) en pavimentos de transporte.

1.2 Historia

A principios de los años 1950, el departamento de carreteras (Bureau of Public Roads, en inglés) comenzó a realizar experimentos de laboratorio para estudiar el efecto del caucho sobre las propiedades de varios productos asfálticos derivados del petróleo. En la década de los 60 y los 70 Charles McDonald de la ciudad de Phoenix hizo extensos trabajos en el desarrollo de procesos húmedos, un método para combinar CRM con cemento asfáltico

antes de la adición del agregado. El sellado con migas de caucho asfáltico se utilizo como técnica principal de preservación de pavimentos en la ciudad de Phoenix para pavimentar las carreteras principales durante casi 20 años.

En 1975, Caltrans empezó a experimentar con el sellado de migas de caucho asfáltico en pequeñas secciones de autopista a través del estado. Los resultados de estas pruebas fueron favorables. En 1978, Caltrans uso el primero proceso seco con caucho asfáltico para construir una parte del pavimento, los resultados fueron descritos como buenos. En 1980, Caltrans empleó el proceso húmedo para hacer reparaciones urgentes de carreteras en la ruta 50 situado en el "región de la nieve" donde el pavimento esta sujeto a desgaste y abrasión producida por las cadenas para la nieve. El asfalto engomado fue colocado sobre la capa de hormigón asfáltico; se informo que el asfalto engomado resistió bien las abrasiones y daños de las cadenas.

En 1983, Caltrans decidió no usar el costoso hormigón asfáltico de granulometría densa (DGAC) para revestir una parte del pavimento deteriorado. La alternativa menos costosa elegida fue usar un revestimiento fino de asfalto engomado. Se construyeron 13 secciones de prueba a varias profundidades y formas de capas de revestimiento de caucho asfáltico. Las secciones de prueba tuvieron una duración muy superior a la esperada, algunas incluso llegaron a durar 19 años. Después de estas pruebas, Caltrans decidió que los pavimentos de caucho asfáltico fino tenían un desempeño superior que los pavimentos convencionales más gruesos, y costaban menos.

En marzo de 1992, Caltrans publicó la guía de diseño de mezcla caliente de caucho asfáltico de granulometría discontinua "Design Guide for Asphalt Rubber Hot Mix Gap Graded". Este informe se basó en estudios y revisiones de anteriores proyectos con asfalto engomado. En 1995, Caltrans había construido en distintos condados y ciudades más de 500 proyectos que usaban asfalto engomado.

Desde 1997 a 2007, el porcentaje del pavimento AC de Caltrans que usaba hormigón asfáltico engomado aumentó de forma espectacular, y se multiplicó casi por 7 según se muestra en la Figura 1.

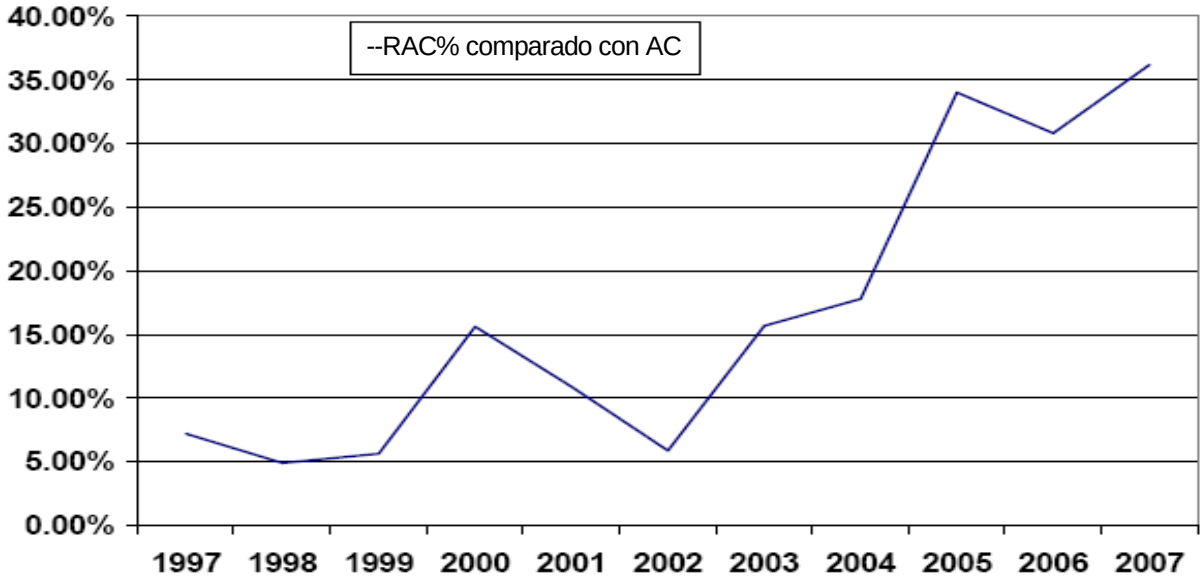


Figura 1. Porcentaje de Hormigón Asfáltico Engomado versus Cobertura AC a Través de los Años por Caltrans

1.3 Teoría

El caucho asfáltico es definido por la ASTM D8 como: “una mezcla de cemento asfáltico, caucho de neumático recuperado y algunos aditivos en la que el componente de caucho supone al menos el 15 por ciento del peso de la mezcla total y ha reaccionado en el cemento asfáltico caliente lo suficiente para que las partículas de caucho se hinchen”.

El añadir caucho triturado o modificador de caucho triturado (CRM) mejora las propiedades de ingeniería del asfalto que puede tener un desempeño muy superior a los pavimentos asfálticos convencionales. El asfalto convencional es un material viscoelástico; a temperaturas elevadas la elasticidad del asfalto disminuye causando una deformación permanente en el pavimento, o surcamiento. Si se añade CRM aumenta la elasticidad del pavimento a temperaturas altas, aporta rigidez al aglomerante asfáltico; disminuye la susceptibilidad a la temperatura y reduce la deformación permanente. El caucho asfáltico ofrecer mayor resistencia contra el agrietamiento por reflexión y el agrietamiento por fatiga comparado con el asfalto convencional.

El caucho asfáltico puede usar en todas las aplicaciones donde se usa el asfalto convencional. Se usa de forma muy efectiva en aplicaciones de revestimiento y en capas finas de revestimiento de reparación, sobre pavimentos deteriorados flexibles y rígidos. Debido a las propiedades de ingeniería mejoradas del caucho asfáltico, el espesor de la capa puede ser la mitad que la del hormigón asfáltico de granulometría densa convencional según las experiencias pasadas de Caltrans.

El uso de caucho asfáltico como una alternativa a los pavimentos asfálticos convencional tiene muchas ventajas. El caucho asfáltico puede mejorar la durabilidad y resistencia al agrietamiento, tanto el superficial como el producido por la reflexión. El caucho asfáltico es menos sensible a la temperatura lo que resulta en una mayor elasticidad y menos deformaciones permanentes. El añadido de CRM disminuye la obsolescencia del asfalto engomado debido al contenido más alto de aglomerante, aglomerantes más espesos y

antioxidantes aumentados del caucho. Los tiempos de construcción del caucho asfáltico son menores a los del asfalto convencional debido a los levantamientos con asfalto más finos. Hay ahorro de energía y conservación de recursos naturales.

2.0 Ejemplos de Estudios de Caso

Caltrans construyó cinco secciones de prueba con asfalto engomado entre 2002 y 2004. El propósito de estos proyectos era evaluar la constructibilidad y desempeño de los pavimentos con asfalto engomado. Dos de los proyectos se destacan a continuación.

2.1 Firebaugh

En 2004, Caltrans, con financiamiento de California Integrated Waste Management Board (CIWMB) lanzó un diseño experimental a toda escala y un proyecto de construcción usando asfaltos engomados como revestimiento en secciones de pavimento dañadas. El principal foco del proyecto era observar el desempeño sobre el terreno de distintas mezclas de RHMA con distintos espesores, y evaluar la constructibilidad de las mezclas RHMA. La pavimentación empezó en abril de 2004 y terminó en junio del mismo año. La Figura 2 muestra la ubicación del proyecto.

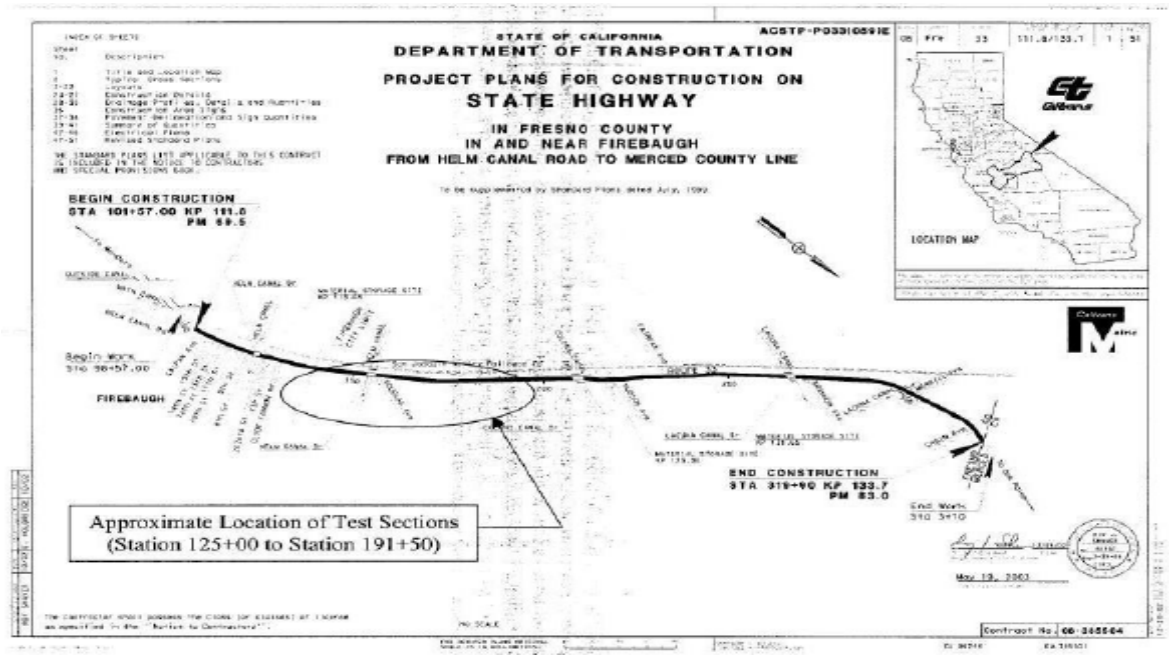


Figura 2. Mapa de Ubicación del Proyecto Firebaugh

Se hicieron tres rondas de monitoreo de desempeño post-construcción en el proyecto. Se hicieron pruebas con un deflectómetro de peso de caída (FWD) durante las tres rondas. En cada proyecto, se establecieron cuatro a nueve secciones de evaluación de desempeño (PES) de 152 metros para el monitoreo a largo plazo del desempeño. Las ubicaciones detalladas de los diferentes tipos de secciones experimentales de prueba se muestran en la Figura 3.

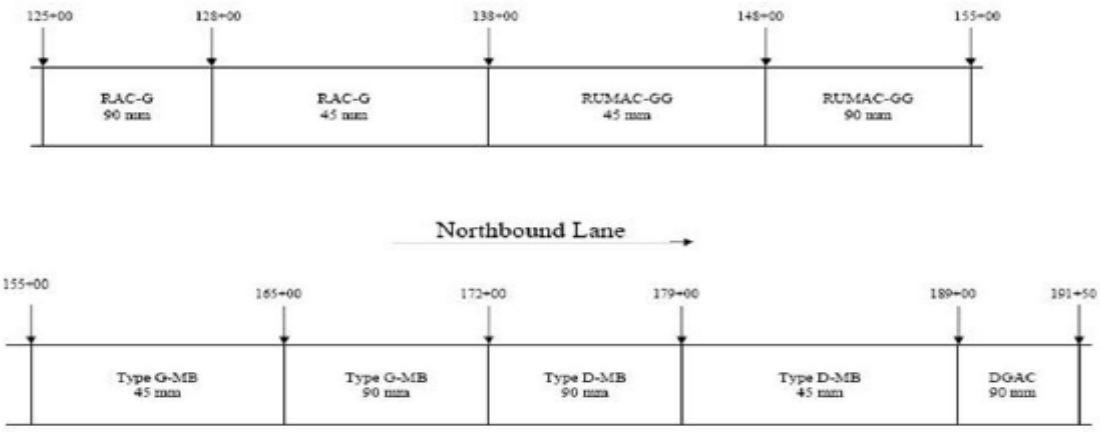


Figura 3 Secciones de Prueba por Tipo de Pavimento Instalado en el Proyecto Firebaugh

Un estudio del estado de la obra se realizó durante la última de las tres rondas de evaluación. Se realizaron estudios de deterioro en conformidad con las definiciones estándar de Caltrans para tipo, severidad y extensión del deterioro. Los estudios incluyen mediciones de levantamiento, agrietamiento, enmarañamiento, deformación y otros daños así como fotografías digitales. Las pruebas y estudios sirven de componentes clave del programa de monitoreo de desempeño. El gráfico de barras que se muestra en la Figura 4 compara el 80 porciento de las deflexiones con el valor tolerable. Los que tienen una deflexión superior al 80% en valor tolerable se consideran estructuralmente inadecuados y con menos probabilidad de superar el periodo de diseño de 10 años.

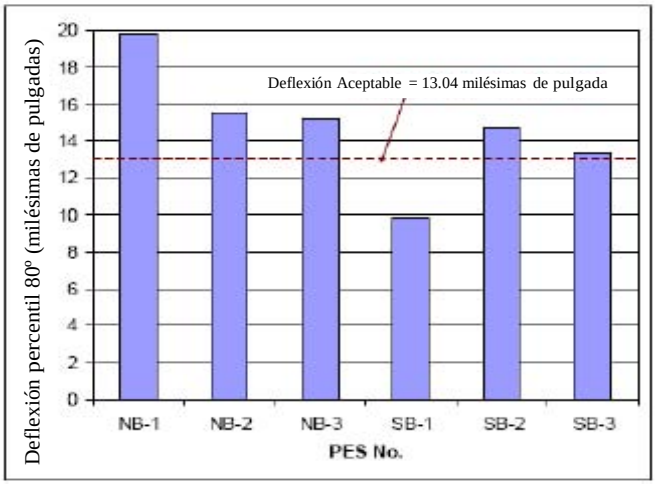


Figura 4 Resultados de la Prueba de Deflexión en las Secciones de Prueba Firebaugh

2.2 San Diego, Autopista 75

El proyecto de garantía RAC en San Diego que se muestra en la Figura 5 está situado junto a dos pistas rumbo al sur y en los arcenes de la autopista 75, Distrito 11 del Condado de San Diego, entre Coronado e Imperial beach, CA. El proyecto tiene una extensión de 6,4 millas. El área del proyecto esta ubicada dentro del área climática “costa sur” de Caltrans Los datos de precipitación, temperatura y volumen de tráfico son factores clave utilizados para desarrollar el diseño de mezcla y el espesor del pavimento. Los ingenieros de Caltrans determinaron que se necesitaba un revestimiento de hormigón asfáltico engomado de granulometría discontinua y 60 mm de espesor (RAC-G) para lograr los resultados deseados.

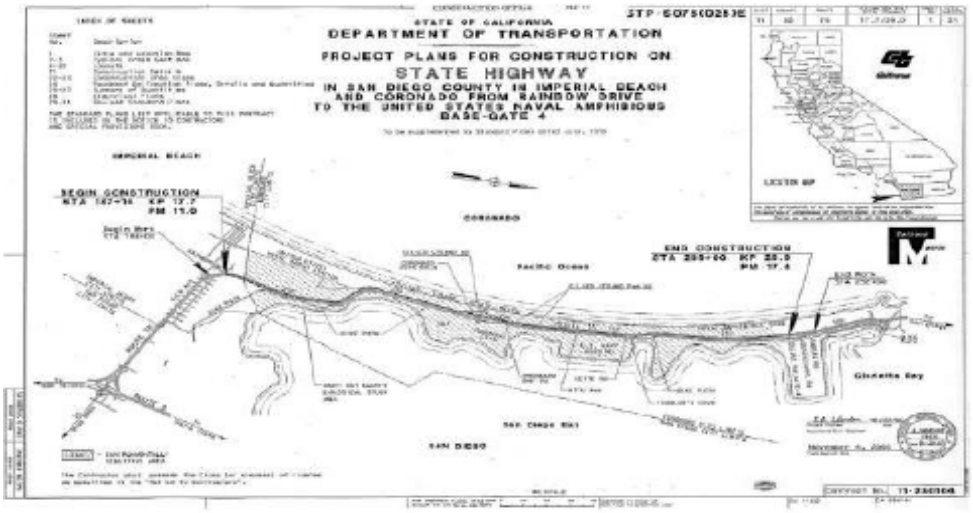


Figura 5 Mapa de ubicación del proyecto piloto con RAC en la autopista 75 de San Diego

El aglomerante usado para el asfalto engomado fue AR-4000 con 20% de CRM (75% de neumático triturado y 25% de alto contenido natural) y 3% de aceite extendedor. La pavimentación tuvo lugar entre el 25 de abril y el 15 de mayo de 2003, La Figura 6 indica que tres de los cuatro PES (secciones de prueba) tienen un percentil de deflexión 80 que claramente satisface el criterio de deflexión tolerable. Se espera que el pavimento entregue un desempeño estructural bueno durante los 10 años del periodo de diseño.

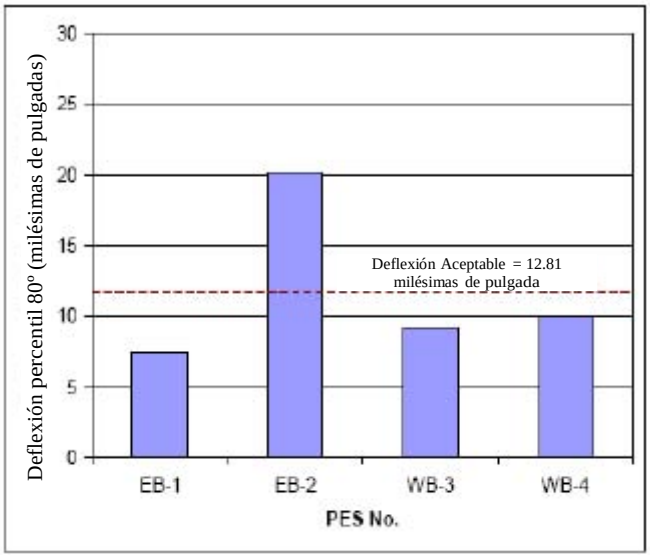


Figura 6 Resultados de Pruebas de Deflexión del Pavimento en las Secciones de Prueba de la Autopista 75 en San Diego

3.0 Resumen

En este módulo didáctico, se establecen los objetivos y contenidos del curso. Revisamos la historia del pavimento con asfalto engomado de mezcla caliente. Se presentó la experiencia de Caltrans y los proyectos de prueba sobre pavimentos asfáltico engomado, y se mencionaron las ventajas de desempeño del caucho asfáltico.

El diseño y construcción con asfalto engomado de mezcla caliente requiere un proceso de ingeniería cuidadoso. El diseño de mezcla debe cumplir las especificaciones estándar de Caltrans. Para asegurar un proyecto de buena calidad, se deben monitorear todos los aspectos del proyecto incluyendo la fabricación, entrega y transporte de la mezcla, condiciones climáticas, preparación de la superficie, aplicación, compactación e inspección. La viscosidad del aglomerante de caucho asfáltico es un elemento clave a controlar. Se deben obtener muestras de caucho asfáltico y otros componentes materiales individuales para su verificación y aceptación. Sobre el terreno, se debe observar la temperatura del asfalto engomado de mezcla caliente y las operaciones de compactación. La aceptación de la compactación debe basarse en muestras centrales así como en sondas de densidad nuclear.

El asfalto de mezcla templada con caucho asfáltico esta en su etapa piloto. Caltrans D3 construyó recientemente una mezcla templada de caucho asfáltico en la carretera I-5 en Orland, CA. Tiene un gran potencial para reducir las limitaciones de clima y desplazamientos largos de asfalto engomado de mezcla caliente. También puede reducir el olor, consumo de energía y producción de gases invernadero en el sitio de construcción. En el futuro, será necesario desarrollar un módulo didáctico para el caucho asfáltico con tecnología de mezcla templada.

Las mezclas terminales, en que el modificador con caucho triturado fino se mezcla con el aglomerante asfáltico en terminales de refinería tiene la ventaja de no requerir agitación

ni equipo de mezcla especial sobre el terreno. También debería prepararse un módulo sobre mezclas en terminal para su futura enseñanza.

4.0 Referencias

1. Caltrans. 2003. Guía de uso del asfalto engomado
2. Caltrans Report, Use of Scrap Tire Rubber - State of the Technology and Best Practices[Uso de caucho de neumático de desecho: estado de la tecnología y mejores Prácticas]
3. Caltrans Report, Synthesis of Caltrans Rubberized Asphalt Concrete Projects [informe de Caltrans, Síntesis de los proyectos de hormigón asfáltico engomado de Caltrans]
4. Caltrans. 2002. Flexible Pavement Rehabilitation Manual [manual de reparación de pavimento flexible]
5. Asphalt Rubber Design and Construction Guidelines [Directrices de diseño y construcción con asfalto engomado]
6. Caltrans. 2007. Caltrans Highway Design Manual [manual de diseño de autopistas de Caltrans]

CIVIL 551 Ingeniería de Cimientos

Ingeniería de Cimientos Usando Agregados Derivados de Neumáticos

1.0 Introducción

1.1 Trasfondo

Según la asociación de fabricantes de caucho, los EE.UU. generaron aproximadamente 300 millones de neumáticos de desecho en 2005 (RMA, 2006). Históricamente, estos neumáticos para desecho ocupaban espacio en vertederos u ofrecían el caldo de cultivo perfecto para mosquitos y roedores cuando se los apilaba o se tiraban ilegalmente. Afortunadamente ahora existe mercado para el 87% de estos neumáticos de desecho generados anualmente, en comparación con el 17% en el año 1990. Estos mercados - tanto de reciclado como de uso beneficioso – siguen creciendo, y la California Integrated Waste Management Board (CIWMB) cree que el marcado más grande de todos para los productos de neumáticos de desecho son las aplicaciones en ingeniería civil. Los neumáticos desechados que restan siguen siendo apilados en montones o en vertederos.

A nivel nacional, de los 300 millones de neumáticos de desecho producidos, la mayoría se utilizó como sigue (RMA, 2006):

- 155 millones (52%) se usaron como combustible (TDF).
- 49 millones (16%) fueron reciclados o utilizados en proyectos de ingeniería civil
- 30 millones (10%) se convirtieron en caucho triturado y se reciclaron en productos.
- 7,4 millones (2,5%) se convirtieron en caucho triturado y se usaron en asfalto engomado
- millones (2,3%) se exportaron.
- millones (2.0%) se reciclaron en productos cortados/estampados/sellados.
- 3 millones (1%) se destinaron a la agricultura y otros usos misceláneos.

Cerca del 2% de los neumáticos de desecho pueden reciclarse mediante el corte, perforación o estampación en varios productos de caucho después de extraerles las bandas de acero. Los productos reciclados incluyen: Esterillas, cinturones, empaques de juntas, suelas de calzado, parachoques para muelles, impermeabilizadotes, silenciadores, percheros, calces y arandelas. Los neumáticos enteros pueden reciclarse o reutilizarse como barreras antipoque en carreteras, parachoques en puertos deportivos, y para una variedad de propósitos agrícolas.

Como puede verse, los mercados más grandes para neumáticos de desecho, que ocupan alrededor del 78%, incluyen:

- Combustible derivado de neumáticos
- Aplicaciones en ingeniería civil
- Aplicaciones de caucho triturado/hormigón asfáltico engomado (RAC)

Tanto el uso de reciclaje como el uso beneficioso de los restos de neumáticos se han expandido mucho en la última década debido al creciente énfasis en el reciclado y uso beneficioso por parte de autoridades estatales, locales y federales, la industria, y otras asociaciones. Desgraciadamente, incluso con los importantes niveles de utilización y esfuerzos de reciclaje en marcha, no todos los restos de neumáticos se usan de forma beneficiosa.

El mayor uso de los neumáticos es como fuente de combustible - conocido como combustible derivado de neumático (TDF)- ya sea despezada o entera dependiendo del tipo de dispositivo de combustión. Cada neumático contiene el equivalente en energía de dos galones de petróleo. Los neumáticos se usan normalmente como un suplemento para combustibles tradicionales como el carbón o la madera En 2006, 155 millones de neumáticos de desecho se usaron como combustible (alrededor del 52% de todos los generados), lo que supone un aumento desde los 25,9 millones (10.7% de todos los generados) en 1991 (CIWMB, 2006). El uso de neumático como combustible tiene varias ventajas. Los neumáticos producen aproximadamente la misma cantidad de energía que el petróleo y un 25% más que el carbón y los residuos de ceniza del TDF pueden tener un menor contenido de mentales pesados que algunos carbones. Esto resulta en emisiones Nox más bajas cuando se las compara con las que emiten muchos tipos de carbón en EE.UU, especialmente los carbones con alto contenido de azufre.

El mercado de ingeniería civil engloba un amplio rango de usos para los neumáticos sobrantes. Los materiales de neumáticos de desecho normalmente reemplazan otros compuestos usados actualmente en la construcción como los materiales de relleno ligero, agregado para drenaje o incluso relleno de tierra. Una cantidad considerable de los restos de neumáticos para aplicaciones de ingeniería civil proceden de proyectos de reducción de almacenamiento de neumáticos. Los neumáticos que se recuperan de los montones suelen estar más sucios que los de otras fuentes de neumáticos de desecho y normalmente se trituran toscamente para esas aplicaciones. Muchas aplicaciones de ingeniería civil pueden acomodar este material más sucio.

California genera por sí sola alrededor de 40 millones de neumáticos de desecho cada año. Para reducir el acopio de neumáticos de desecho, el CIWMB ha aumentado sus esfuerzos para transformar esta chatarra en productos útiles. Una de las principales aplicaciones de los neumáticos de desecho son los agregados derivados de neumáticos (TDA) en proyectos de ingeniería civil. Existen dos tipos de TDA, que se muestran en la Figura 1, usados comúnmente en aplicaciones de ingeniería civil; como el Tipo A y Tipo B que se muestran en la Figura 1. El tipo A, con partículas de tamaño menor a 3 pulgadas, se usa especialmente como material de drenaje, en campos de lixiviado séptico, y para mitigar la vibración de los rieles; el tipo B esta compuesto por hilos de neumático más grandes que los del tipo A. El tipo B se usa mayoritariamente como material de relleno ligero para cementaciones o como relleno ligero posterior para muros de contención.

Tipo A Agregados Derivados de Neumáticos Tipo B Agregados Derivados de Neumáticos

Figura 1 Tipo A y Tipo B de Agregados Derivados De Neumático

1.2 Aplicaciones en Ingeniería Civil

Las aplicaciones de ingeniería civil que usan TDA incluyen:

- Relleno y Cementación de Base
- Relleno para muros de contención y soportes de puentes
- Aislamiento de Base para Carreteras
- Drenajes de borde lateral
- Capa anti-vibración bajo las líneas férreas
- Aplicaciones de vertedero
- Campos de drenaje de sistema séptico

De interés especial para este módulo es el uso de hilos de neumáticos para construir cementaciones y rellenos sobre cimientos comprimibles y débiles. Los hilos de neumático son viables para esta aplicación debido a su poco peso, ya que pesan típicamente 1/3 a 1/2 de la tierra que reemplaza. Usar hilos de neumático como material de relleno ligero puede ser significativamente más barato que otras alternativas, especialmente si los neumáticos de desecho son de fácil disponibilidad y el material para relleno ligero no lo es. Las aplicaciones para relleno de suelo y diques incluyen: proteger las carreteras de la erosión, mejorar la estabilidad de pistas de gran pendiente en las autopistas y reforzar sus áreas de borde. El peso ligero de los hilos de neumático también reduce la presión horizontal y permite construir muros de contención más finos y más baratos Los hilos de neumático también pueden usarse para reducir problemas con la acumulación de agua y escarcha detrás de los muros porque son de drenaje libre y ofrecen buen aislamiento térmico. En climas fríos, el exceso de agua puede eliminarse cuando los suelos de base se descongelen en la primavera. Colocar una capa de tiras de neumático de 6 a 12 pulgadas bajo una carretera puede evitar que el terreno bajo la superficie se congele. Además, la

alta permeabilidad de las tiras de neumático permite que el agua se drene bajo las carreteras, evitando así el daño a la superficie de la carretera.

La construcción y operación de vertederos es una aplicación con creciente mercado para los hilos de neumático. Los hilos de neumático de desecho pueden reemplazar otros materiales de construcción que hubieran tenido que comprarse. Por ejemplo, los neumáticos de desecho pueden usarse como relleno posterior ligero en sistemas de recolección/respiradero de gas. También pueden usarse en cierres y tapado de vertedero, así como material para cubierta diaria.

Algunos estados como Alabama, Florida, Georgia, South Carolina y Virginia permiten el uso de hilos de neumático en la construcción sobre el terreno de drenaje para sistemas sépticos (EPA Web 2009). El material derivado de neumático reemplaza el relleno de piedra tradicional, pero reduce el gasto y mano de obra para construir los campos de drenaje. Las migas de neumático también absorben más agua que la piedra y pueden transportarse más fácilmente gracias a su poco peso. Esto se traduce en menos camiones para entregar un volumen de material dado, lo que ahorra dinero especialmente cuando las distancias de transporte son largas.

Otras aplicaciones de ingeniería civil de los productos de neumáticos de desecho incluyen:

- Material superficial para campos deportivos
- Sustituto de gravilla
- Drenaje en cimientos de edificios y aislamiento de cimientos de edificios
- Barreras para control de la erosión/escurrimiento de agua de lluvia (neumáticos enteros)
- Establecimiento de pantanos/cenagales (neumáticos enteros)
- Barrera antichoque alrededor de pistas de carrera (neumáticos enteros)
- Parachoques en puertos deportivos (neumáticos enteros)

1.3 Objetivos

En este módulo se investiga el uso del agregado derivado de neumáticos (TDA) como relleno posterior para muros de contención. Este módulo se centra en las propiedades materiales de los TDA que son necesarias para evaluar el uso de TDA como material de relleno posterior para muros de contención. Se presentan resultados de pruebas a escala piloto de un muro de contención con relleno posterior de TDA realizadas en la University of Maine (Humphrey 2003). También se habla acerca de un estudio de caso para el uso de TDA como relleno posterior en el muro 119 en Riverside, California (Kennec, Inc, 2008). Este módulo fue desarrollado para introducir a los estudiantes de ingeniería de cursos superior al uso de los TDA en proyectos de ingeniería civil. Fue elaborado para un curso que se ofrece en la mayoría de los institutos técnicos y universidades con programas de ingeniería; normalmente el curso recibe el nombre de "Ingeniería de Cimientos".

2.0 Propiedades importantes

De las propiedades que necesitan los ingenieros para diseñar proyectos, las siguientes son las mas importantes para el uso de TDA como material de relleno posterior en muros de contención:

- Gradación
- Gravedad Específica y Unidades de Peso
- Comprimibilidad
- Presión Lateral del Terreno
- Resistencia al Corte
- Conductividad Hidráulica (Permeabilidad)
- Conductividad Termal

2.1 Gradación

Los TDA (hilos de neumático) también poseen una gradación bastante uniforme pero tienen formas irregulares, más similares a láminas. Las Figuras 2 y 3 muestran las curvas de gradación típicas de los TDA La Figura 2 muestra la gradación para los TDA tipo A de distintos fabricantes. Demuestra que las muestras tienen normalmente una gradación uniforme (mismo tamaño). Sin embargo, el tamaño máximo depende del fabricante. Las pruebas de gradación se realizan en conformidad con las normas ASTM 422 Las curvas de gradación para los TDA tipo B que se muestran en la Figura 3, también tienen gradación uniforme con un tamaño de partículas que seria considerada como gravilla tosca o cantos.

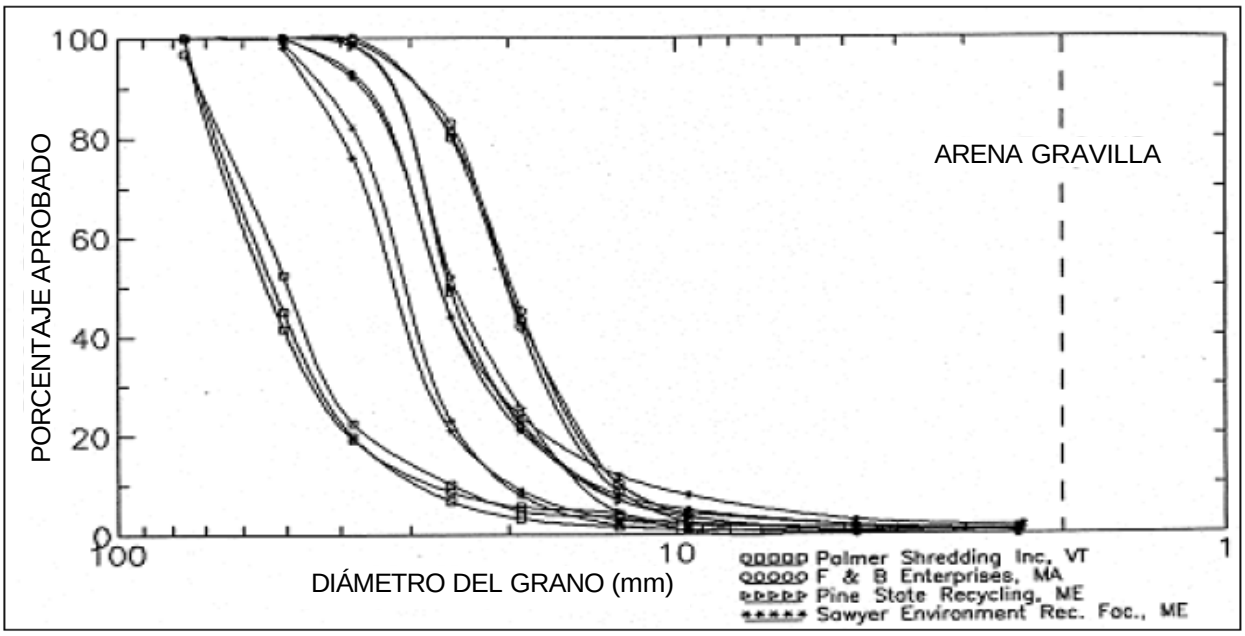


Figura 2 Gradación Típica de los TDA Tipo A de Distintos Productores de Hilos de Neumático

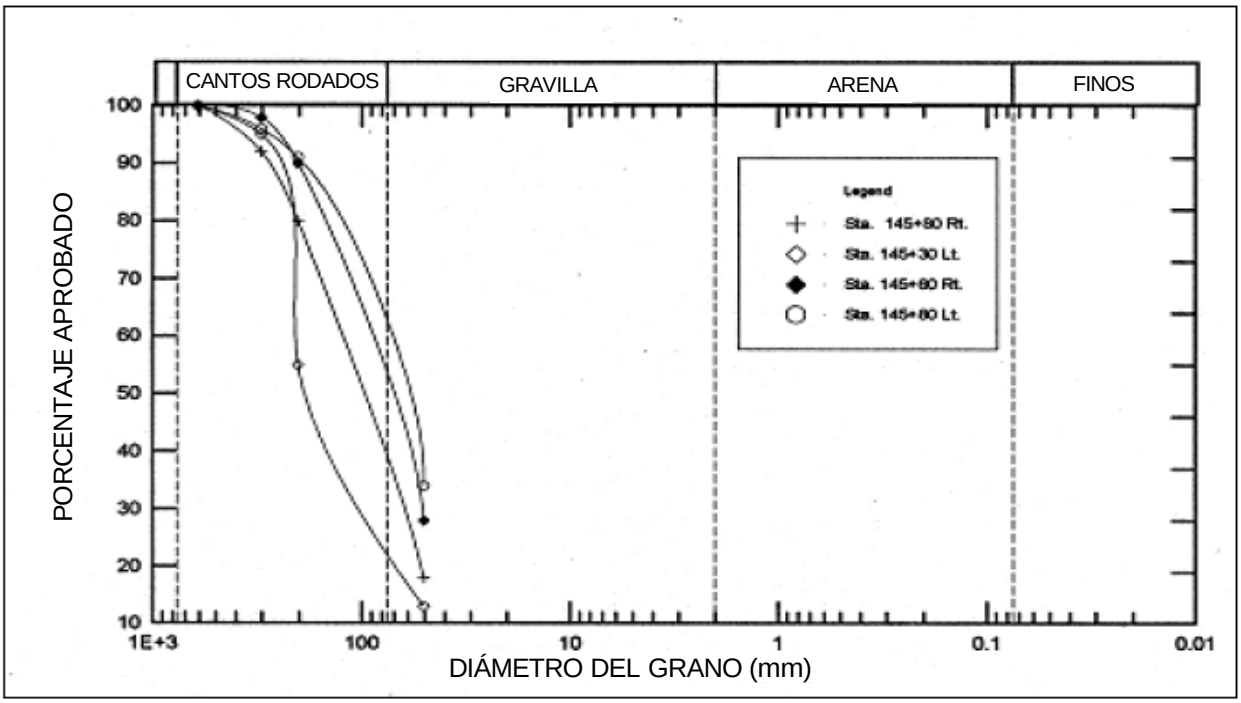


Figura 3 Gradación Típica de los TDA Tipo B de Distintos Productores de Hilos de Neumático

2.2 Gravedad específica

El segundo factor necesario para diseñar proyectos usando TDA como relleno posterior de muros de contención es la gravedad específica del material. La gravedad específica del neumático de desecho triturado es necesaria para completar el diseño del muro de contención. Las gravedades específicas informadas en la literatura (en la siguiente Tabla, de Humphrey, 2003) van de 1,02 a 1,27, con los valores más altos asociados a hilos de neumático con un porcentaje más alto de bandas de acero en las partículas. Las gravedades específicas de los suelos comunes suelen variar de 2,6 a 2,7. La menor gravedad específica de los TDA resulta en menor unidad de peso para el relleno posterior con TDA. La densidad suelta de los TDA varía de 21,3 a 30,9 libras por pie cúbico (pcf) sin compactación; sin embargo, el peso de la unidad compactada aumenta a mayor esfuerzo de compactación. Del 50 a 60% de la compactación estándar, se informa un 38,3 a 40,1 pcf, a una energía inicial de compactación estándar, 39, 5 a 40.7 pcf se logre, y a compactación modificada el rango es de 41,2 a 42,7 pcf. Así que el rango de peso de unidad compactada en seco está entre 38 y 43 pcf, mientras que el peso unitario del suelo compactado es de 125 pcf aproximadamente. También hay datos disponibles en la literatura (referencias) para el peso de unidad compactada de mezclas de TDA/suelos.

Tabla 1 Gravedad Específica y Capacidad de Absorción de Agua de los Diferentes Hilos de Neumático

Hilos de Neumático	Gravedad específica			Agua	Referencia
Tipo	Masa	Superficie seca sat.	Aparente	Capacidad de absorción (%)	
Vidrio cinturado	----	----	1.14	3.8	(1)
Vidrio cinturado	0.98	1.02	1.02	4	(2)
Acero cinturado	1.06	1.01	1.10	4	(2)
Amalgama	1.06	1.16	1.18	9.5	(3)
Amalgama (Pine State)	----	----	1.24	2	(1)
Amalgama (Palmer)	----	----	1.27	2	(1)
Amalgama (Sawyer)	----	----	1.23	4.3	(1)
Amalgama	1.01	1.05	1.05	4	(2)
Amalgama	----	0.88 to 1.13	----	----	(4)

Humphrey, et al. (1992), (2) Manion & Humphrey (1992), (3) Bressette (1984), (4) Ahmed (1993)

2.3 Comprimibilidad de los TDA

La comprimibilidad se define como la susceptibilidad del material para someterse a cambios de volumen debido a cambios de tensión. La comprimibilidad es importante para el uso de los TDA como material de relleno en muros de contención porque el asentamiento que ocurrirá durante el primer mes o dos después de la colocación del relleno. Asimismo, se ha demostrado que el peso unitario sobre el terreno varía con el esfuerzo de compactación y deben considerarse las deflexiones causadas por la carga temporal (Ej., cargas de acero). Debido a su porosidad y alto contenido de caucho, los TDA son altamente comprimibles bajo ciertas condiciones de carga. ¡Los TDA pueden comprimirse hasta un máximo del 50% bajo cargas normales altas!

2.4 Coeficientes de presión lateral de terreno en reposo e índice de Poisson

La presión lateral del terreno es la presión ejercida por el material de relleno en la pared de una estructura como un muro de contención. Puede determinarse a partir de los coeficientes de presión lateral del terreno, los que se calculan al dividir la tensión horizontal por la tensión vertical. En el estudio de la mecánica de los materiales, el índice

de Poisson, ¿, relaciona la deformación transversal (horizontal en este caso) con la deformación axial (vertical). La tabla 2 incluye los valores de coeficiente de presión lateral del terreno y el índice de Poisson (según Humphrey, 2003).

Tabla 2 Coeficiente de Presión Lateral de Terreno e Índice de Poisson

Rango de tamaño de la partícula (pulgada)	Tipo de hilo de neumático	Origen de los hilos de neumático	Ko	μ	Referencia
2	Mezclada	Sawyer Environmental	0.44	0.30	(1)
3	Mezclada	Palmer Shredding	0.26	0.20	(2)
2	Mezclada	Pine State Recycling	0.41	0.28	(2)
1	Vidrio	F & B Enterprises	0.47	0.32	(2)
----	----	----	----	0.3 to 0.17	(3)
2	Mezclada	Maust Tire Recycles	0.4a	0.3	(4)

Notas: a. Para una tensión vertical menor a 25 psi.

Referencias:

(1) Manion and Humphrey (1992); Humphrey and Manion (1992)
(2) Humphrey, et al. (1992, 1993); Humphrey and Sandford (1993)
(3) Edil and Bosscher (1992, 1994)
(4) Drescher and Newcomb (1994)

Los productos de neumáticos de desecho (incluyendo TDA) son materiales discretos y pueden soportar la compactación pero no el estrés tensil y suelen fallar en el corte a lo largo del plano de debilidad. Hay cuatro factores que afectan la resistencia al corte del caucho triturado y TDA:

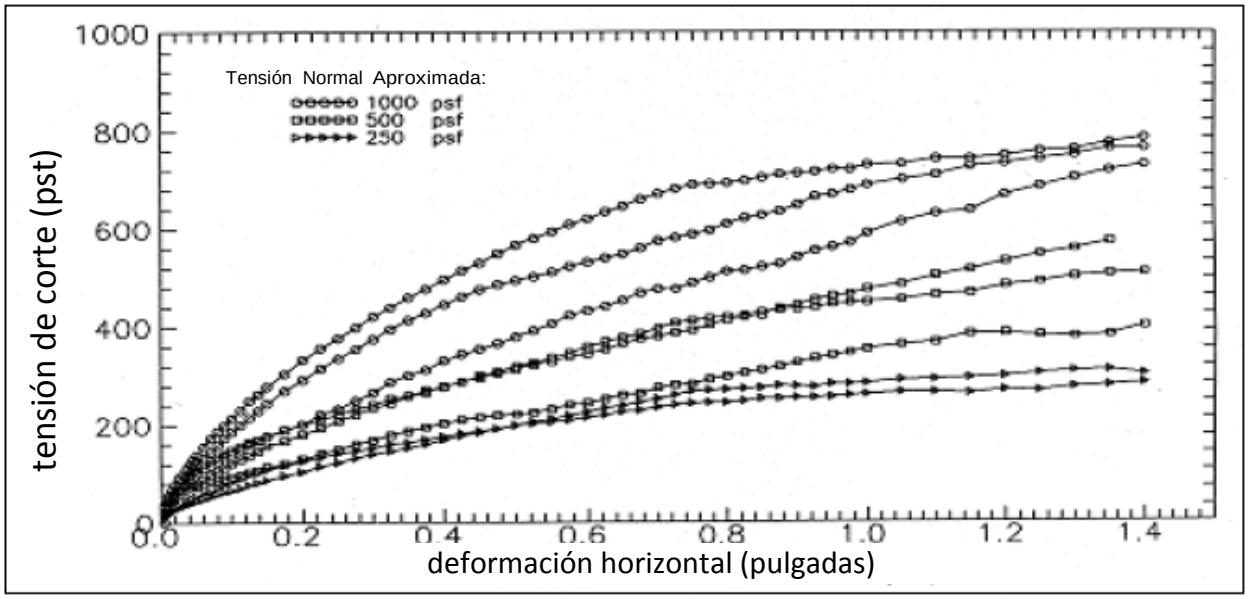
1. Tamaño y forma de los hilos de caucho
2. La densidad (embalaje) de la muestra al principio de la prueba.
3. Magnitud de la carga normal comprimida
4. La orientación de las partículas en la muestra.

2.5 Resistencia al Corte

La resistencia al corte de los TDA es un parámetro importante para el diseño de muros de contención. Este tema se aborda en detalle en el Módulo de resistencia al corte (CIVIL 312 Pruebas estructurales de laboratorio). Un aparato de corte directo (ASTM D 3080) o

aparato de corte triaxial (ASTM D4767) puede usarse para medir la resistencia al corte de los hilos de neumático. Cuando se analizan los hilos de neumático, deben usarse muestras de tamaño más grande que los necesarios para otros suelos. Esto es debido al mayor tamaño de partícula de los hilos de neumático. Los aparatos de corte triaxial son de disponibilidad limitada, así que generalmente las pruebas se realizan con hilos de neumático de 1 pulgada o menos. El dispositivo de corte triaxial no debería usarse para hilos de neumático con bandas de acero protuberantes ya que pueden perforar la membrana que contiene la muestra TDA.

Calcular la resistencia al corte de TDA de 3 pulgadas o más usando datos de pruebas de corte directo realizadas con hilos neumáticos más pequeños no es apropiado porque los hilos de neumático grandes tienen distinto tamaño, forma y patrón de contacto de partículas que los hilos de menor tamaño. Figura 3 compara la tensión de corte con la deformación horizontal para un TDA menor de 2 pulgadas con tres tensiones normales distintas (250, 500 y 1000 psf). Esas curvas indican el comportamiento en estado inicial suelto para la muestra TDA sin dilatación como la tasa de tensión de corte aumenta y disminuye con un aumento en el desplazamiento de corte.



La Figura 3 muestra la tensión de corte versus la deformación horizontal para hilos de neumático para reciclaje Pine State se probaron en una caja de corte directo (Humphrey, 2003).

La Figura 4 compara los sobres de fallo para las pruebas realizadas con niveles bajos de tensión, inferiores a 2000 psf. En todos los casos, los sobres de fallo fueron no lineales y cóncavos descendentes. Por tanto, las pruebas deben realizarse con tensiones normales cercanas a lo que nos encontraríamos sobre el terreno si tenemos que ajustar el sobre de fallo lineal a los datos.

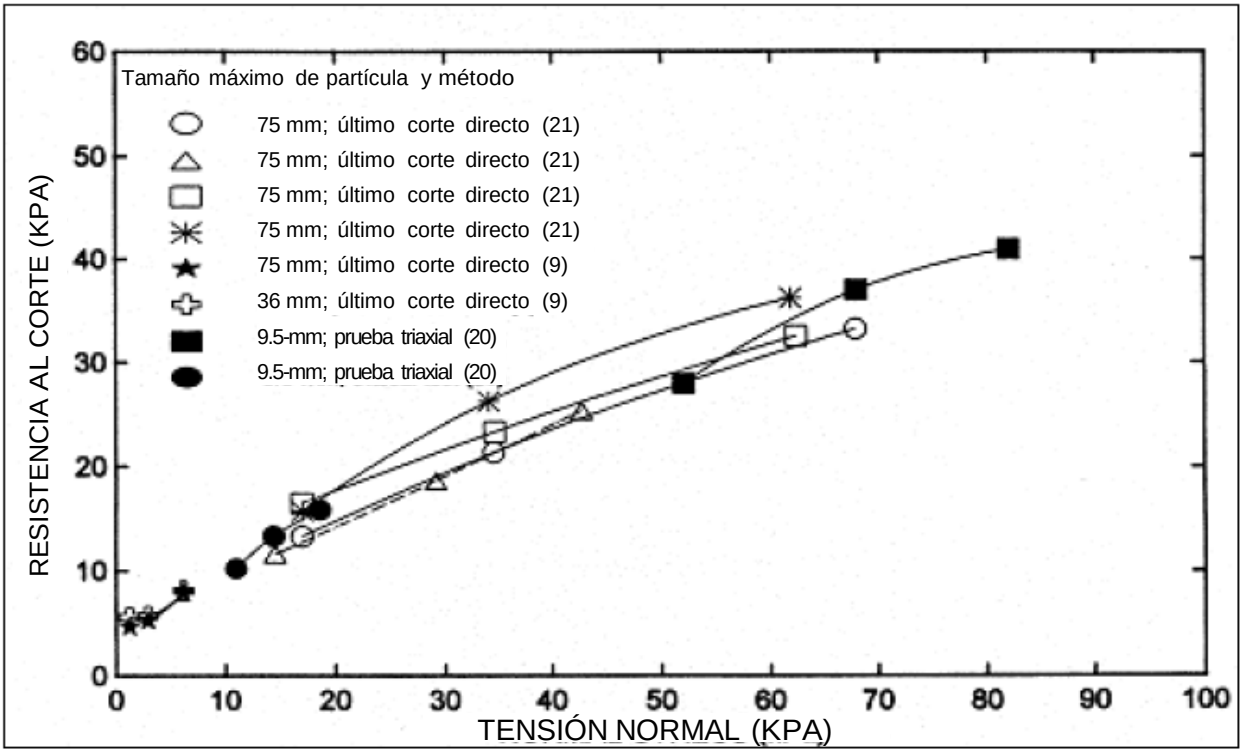


Figura 4 Comparación de los sobres de fallos de TDA con niveles de tensión por debajo de lo normal (menos que unos 2000 psf) (Humphrey 2003)

Las pruebas de 0,5 y 1 pulgadas para hilos de neumáticos a niveles más altos de tensión produjeron sobres de fallos que son aproximadamente lineales. Para pruebas de alta tensión, usando el criterio de fallos de deformación axial del 15%, Ahmed (1993) obtuvo intersecciones de cohesión desde 572 a 689 psf y ángulos de fricción desde 15,9 a 20,3 grados.

En muchos problemas de ingeniería como el diseño de cimientos, muros de contención, puentes de losa, tuberías, tabla estacas, se requiere conocer para el valor del ángulo de fricción y cohesión interna del suelo para hacer el diseño. La prueba de corte directo puede usarse para predecir estos parámetros rápidamente. Esta actividad de laboratorio cubre los procedimientos de laboratorio necesarios para determinar esos valores de materiales granulares. El criterio de fallo Mohr-Coulomb se da como:

$\tau = c + \sigma \tan\varphi$

Donde

τ = tensión de corte en plano de fallos

σ = tensión normal en plano de fallos

c = la intersección de cohesión (=0 para materiales granulosos)

φ = ángulo de fricción interna (inclinación de la línea que relaciona la tensión de corte con la tensión normal).

El Angulo de fricción interna, φ es una función de la distribución del tamaño y forma del grano y del método de compactación de la muestra. Una muestra con empaquetado denso se dilatará cuando se cargue a una tensión de corte mayor que una muestra suelta, aumentando así el ángulo de fricción interna.

2.6 Permeabilidad

La permeabilidad de los hilos de neumático es mucho mayor que la de suelos granulados, con valores experimentales que van desde 0.58 cm/s a 23.5 cm/s. A menudo, la permeabilidad de los TDA supera la capacidad de flujo del equipo de prueba. La Tabla 3 incluye los valores de conductividad hidráulica (permeabilidad) para los hilos de neumático.

Tabla 3 Relación de vació, densidad en seco, conductividad hidráulica de los TDA

Tamaño de la partícula (pulgada)	Índice de vacío	Densidad en seco (pcf)	Conductividad hidráulica (cm/seg)	Referencia
2.5		29.0	5.3 to 23.5	Bressette (1984)
2.5		37.9	2.9 to 10.9	
2		29.3	4.9 to 59.3	
2		38.1	3.8 to 22.0	
1.5	----	----	1.4 to 2.6	Hall (1990)
0.75	----	----	0.8 to 2.6	
2	0.925	40.2	7.7	Humphrey, et al.
2	0.488	52.0	2.1	(1992, 1993)
3	1.114	37.5	15.4	
3	0.583	50.1	4.8	
1.5	0.833	38.8	6.9	
1.5	0.414	50.4	1.5	
1.5		0.653	0.58	Ahmed (1993)
1.5	0.693	42.0	7.6	Lawrence, et al.
1.5	0.328	53.6	1.5	(1998)
3	0.857	41.7	16.3	
3	0.546	50.1	5.6	

2.7 Conductividad Térmica

La conductividad térmica de los hilos de neumático es menor que la de los suelos tradicionales y varia dependiendo de los tamaños de los hilos de neumático. A medida que aumenta el tamaño de las partículas y puede circular más aire en los vacíos, la conductividad térmica aumenta y los hilos de neumático pierden efectividad como aislantes. Por eso, en proyectos de aislamiento, deberían usarse hilos de neumático con un tamaño máximo de 3 pulgadas. La tabla 3 presenta la conductividad térmica como una función de la densidad y el índice de vacío.

Tabla 3 Relación de Vació y Conductividad Térmica de Distintos Materiales, incluyendo TDA

Muestra	Densidad (pcf)	Densidad (Mg/m3)	Índice de Vacío	Conductividad térmica aparente (Btu/hr-ft-°F)	Conductividad térmica aparente (W/m-°C)	Sobrecarga
gravilla	117.6	1.88	0.41	0.295	0.510	ninguna
	121.6	1.95	0.36	0.326	0.563	la mitad
	123.0	1.97	0.34	0.345	0.596	completa
F&B-g	38.5	0.62	0.85	0.120	0.207	ninguna
	43.3	0.69	0.64	0.113	0.195	la mitad
	45.4	0.73	0.56	0.114	0.197	completa
F&B-s	39.1	0.63	0.85	0.145	0.251	ninguna
	42.8	0.69	0.69	0.130	0.225	la mitad
	45.3	0.73	0.60	0.134	0.232	completa
Palmer	39.7	0.64	0.998	0.159	0.275	ninguna
	45.1	0.72	0.76	0.119	0.206	la mitad
	48.5	0.78	0.63	0.125	0.216	completa
Pine State	39.2	0.63	0.97	0.158	0.273	ninguna
	45.4	0.73	0.7	0.139	0.240	la mitad
	49.6	0.79	0.56	0.114	0.197	completa
Sawyer	36.0	0.58	1.13	0.184	0.318	ninguna
	41.0	0.66	0.87	0.148	0.256	la mitad
	43.7	0.70	0.76	0.156	0.270	completa

Conductividades térmicas de distintos materiales, según Humphrey 2003

3.0 Beneficios de los TDA

Los agregados derivados de neumáticos (TDA) tienen propiedades que necesitan los ingenieros civiles, directores de obras públicas y contratistas. Es un material que posee las siguientes características deseables:

- Poco peso
- Alta permeabilidad
- Presión de terreno baja
- Buen aislamiento térmico
- Duradero
- Comprimible
- Puede ser económico

El uso de los TDA puede ayudar a resolver un problema medioambiental importante asociado con la eliminación de los neumáticos de desecho, del flujo de residuos o de su acopio. También puede ayudar a conservar recursos de agregado natural reemplazándolos por agregados minerales. Hay dos tipos de TDA usados normalmente en aplicaciones de ingeniería civil, Tipo A y Tipo B (ver las imágenes de arriba). TDA tipo A: suelen tener un tamaño de partícula menor a tres pulgadas, pesan alrededor de 1 tonelada por 1,4 de yardas cúbicas; y el uso de 1 tonelada equivale a 100 neumáticos (equivalentes de neumático por pasajero o PTE). La densidad sobre el terreno de los TDA tipo B varia entre 45-58 libras/pies cúbicos y tiene una permeabilidad mayor a 1 cm/seg. Los usos comunes de los TDA tipo A incluyen: material de drenaje, en capos de lixiviado séptico, capas para mitigar la vibración bajo los rieles de tren ligero, medio de recolección de gas y material de recolección de lixiviado. TDA tipo B: suelen tener un tamaño de partícula menor a doce pulgadas, pesan alrededor de 1 tonelada por 1,5 de yardas cúbicas; y el uso de 1 tonelada equivale a 100 neumáticos (equivalentes de neumático por pasajero o PTE). La densidad sobre el terreno de los TDA tipo B es de 45-60 libras/pies cúbicos y tiene una permeabilidad mayor a 1 cm/seg. Los usos comunes de los TDA tipo B incluyen: relleno ligero para cementaciones, relleno ligero detrás de muros de contención.

El módulo dedicado a las normas ASTM habla acerca de en detalle la norma ASTM D 6270-98 “"Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications" [práctica estándar en el uso de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil]. Esta norma cubre el uso de TDA como material de relleno. Divide el uso de los TDA como relleno en dos tipos. Los rellenos de clase I tienen TDA en capas de espesor inferior a 1 m (3 pulgadas). Los TDA tienen que tener un máximo de 50% (por peso) de paso por tamiz de 38 mm (~1.5") y un máximo del 5% (por peso) de paso por tamiz de 4.75 mm (~.19"). Los rellenos de clase I se usan típicamente en aplicaciones para lixiviado de vertederos y control de gas y como material de subsuelo bajo carreteras y líneas férreas (ASTM D6270). Los rellenos de clase II por otra parte tienen los TDA en capas de espesor entre 1 a 3 metros (3 a 10 pies). Los TDA tienen que tener un máximo de 25% (por peso) de paso por tamiz de 38 mm (~1.5") y un máximo del 1% (por peso) de paso por tamiz de 4.75 mm (~.19"). Las aplicaciones representativas de los rellenos de Clase II son relleno posterior de muros de contención, relleno de cementaciones y reparación de pendientes.

4.0 Historias de Caso

4.1 Universidad de Maine

La Universidad de Maine construyó el 2º instalación de prueba para muro de contención más grande del mundo para determinar la presión lateral en el muro usando TDA como material de relleno. La estructura tenía 16 pies de alto y 15 por 15 de pies cuadrados de área. Puede soportar una sobrecarga de hasta 750 psf con bloques de hormigón enyesado. Se analizaron hilos de neumáticos de tres distintos productores. Dos de los tipos de hilos tenían 3 pulgadas máximo de tamaño y no se intentó retirar las bandas de acero; el otro tipo tenía un tamaño máximo de 1,5 pulgadas y se le había retirado la mayor parte de las bandas de acero. Los hilos de neumático se colocaron en levantamientos de 8 pulgadas y se compactaron con una apisonadora posterior de 2300 libras. Todas las pruebas se realizaron aplicando una sobrecarga de 750 psf.

Las presiones laterales de terreno se midieron con células de presión en tres posiciones distribuidas a diferentes alturas del muro, Las células de carga se usaron para medir las reacciones horizontales del muro en la parte superior e inferior del mismo, y la reacción vertical se midió en el fondo como se muestra abajo:

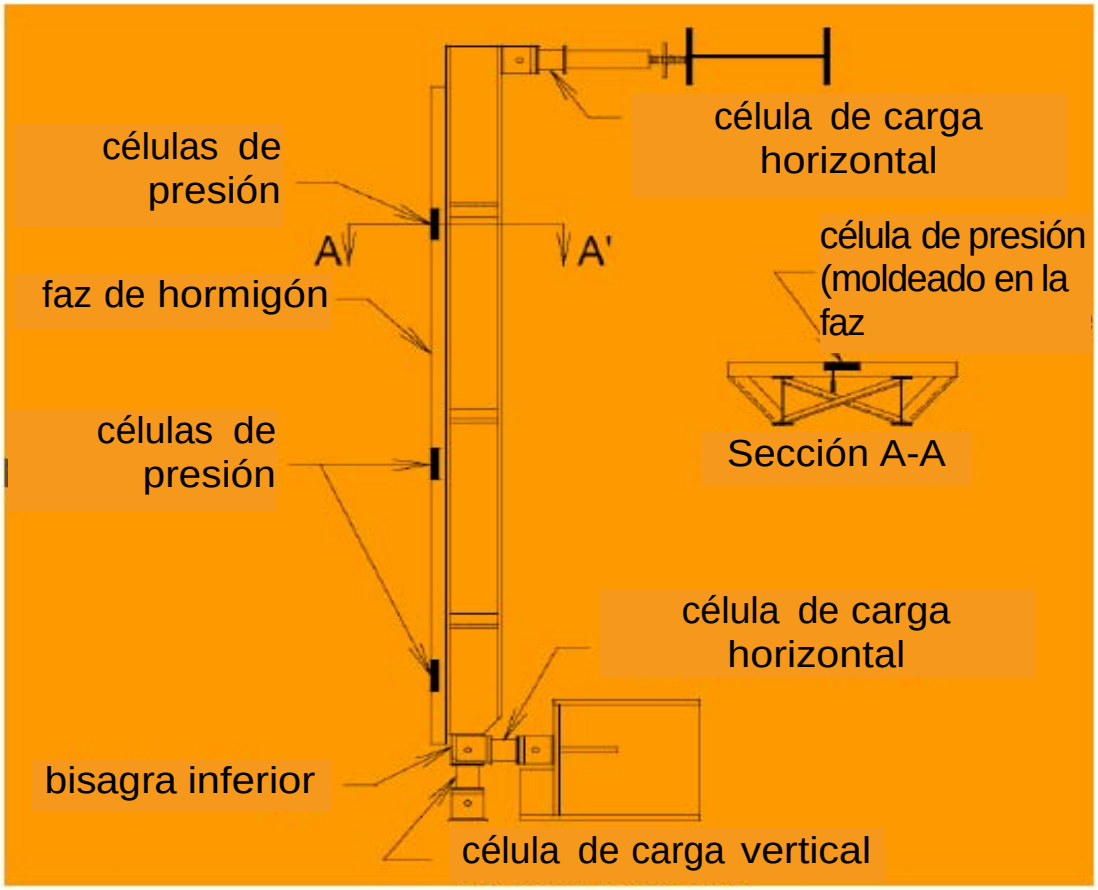


Figura 5 Instalación de medición de las reacciones y presiones del muro en la prueba de la U. de Maine

Las figuras 6 a 11 documentan la construcción del muro y las pruebas de los TDA como material de relleno.

Figura 6 Construcción del muro de pruebas de la Universidad de Maine

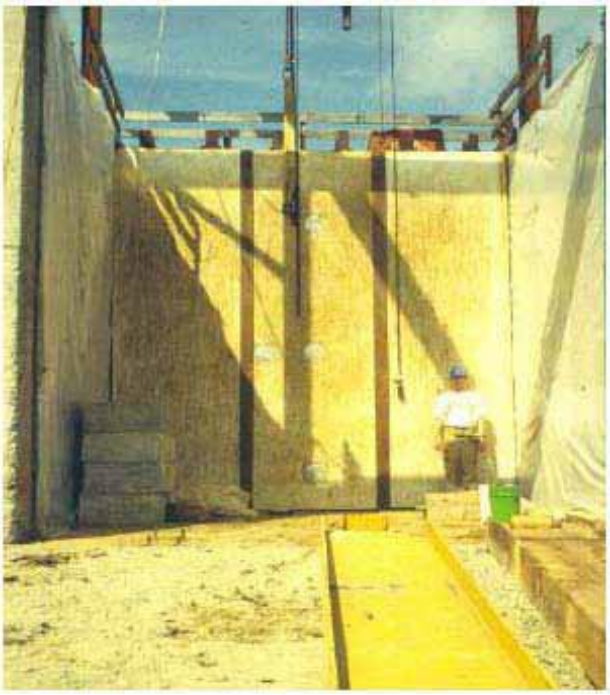


Figura 7 Interior del Muro de Prueba Completado

Figura 8 Carga de la Estructura con Relleno TDA

Figura 9 Compactando el Relleno con la Apisonadora Operadas a Pie

Figura 10 Bloques de Sobrecarga de Hormigón Pre-enyesado

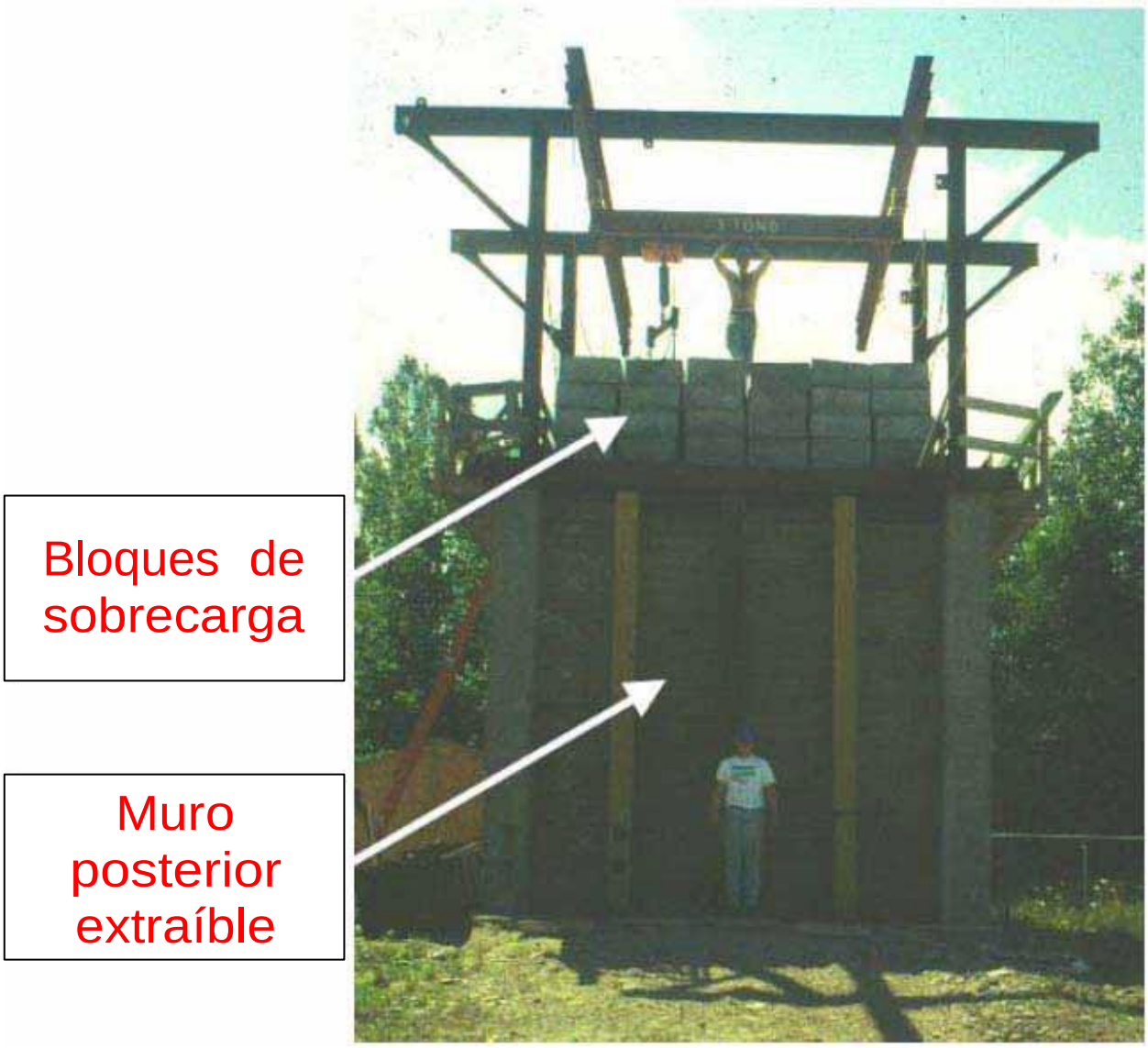


Figura 11 Estructura Llena Totalmente con TDA Compactada y Cargada con una Sobrecarga de 750 psf

Se tomaron mediciones en condiciones de reposo y de caso activo (es decir, el muro gira alejándose del relleno). La distribución de la presión en reposo del muro se muestra en la figura 12 para las tres pruebas con TDA y para la gravilla como material de relleno.

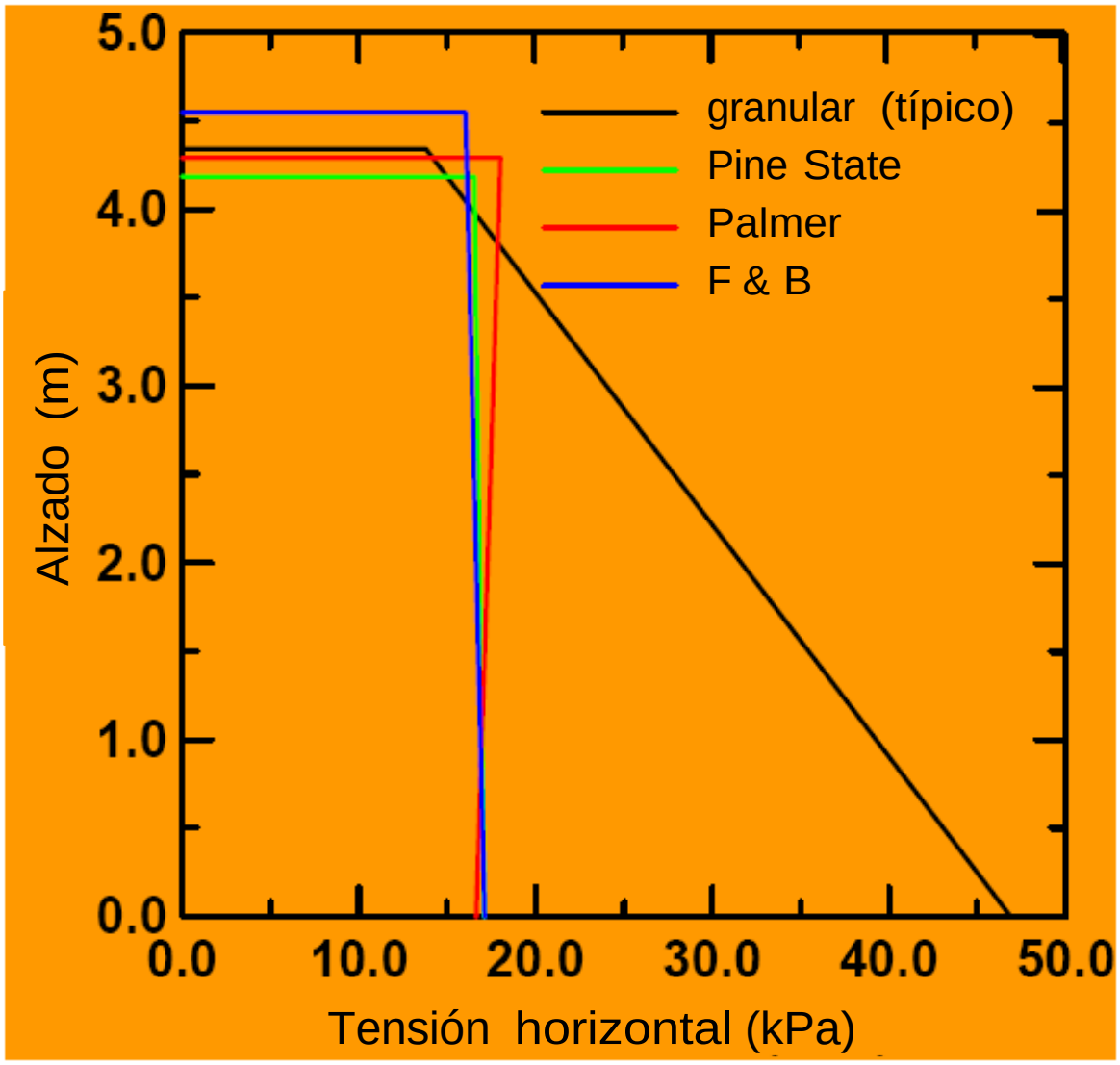


Figura 12 Distribución en Reposo con Sobrecarga de 35,9 Kpa (750 psf)

Es interesante destacar que la presión lateral fue casi constante en toda la altura del relleno TDA, mientras que para el relleno de gravilla la presión aumentaba con la profundidad como se suponía.

Para el estado activo, el muro era girado hacia afuera en una cantidad de 0,04 veces la altura del muro. Las presiones cerca de la parte superior del muro disminuyeron como se esperaba en comparación con el estado en reposo como se indica en la Figura 13.

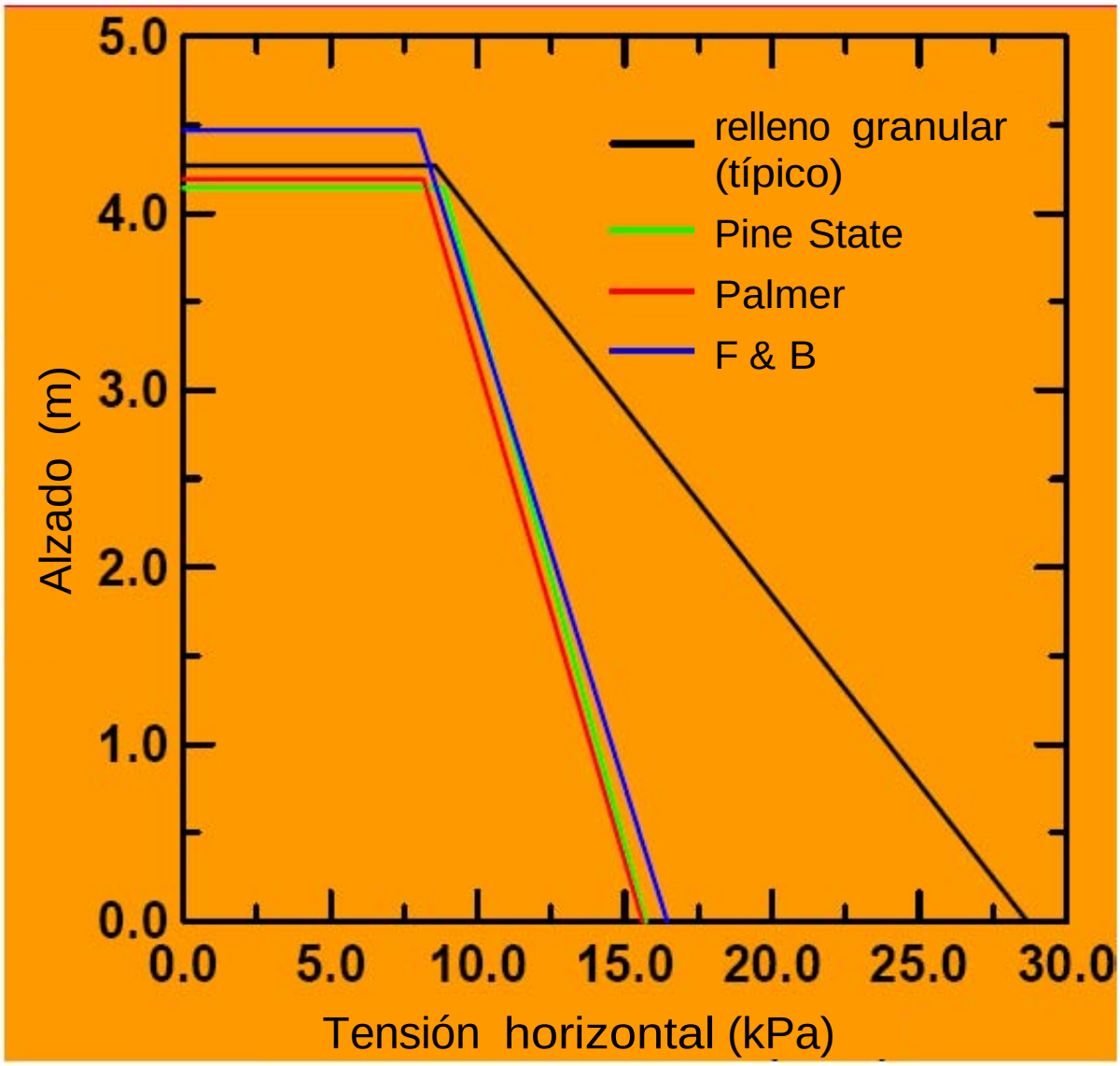


Figura 13. Distribución de Presión en el Muro a Sobrecarga de 35,9 KPa (750 psf) y 0,01H de Rotación del Muro.

La Figura 14 muestra que los TDA retuvieron la faz vertical al retirar el muro (y la sobrecarga) y se requirió un azadón posterior montado en sobre un tractor para mover el relleno de TDA.

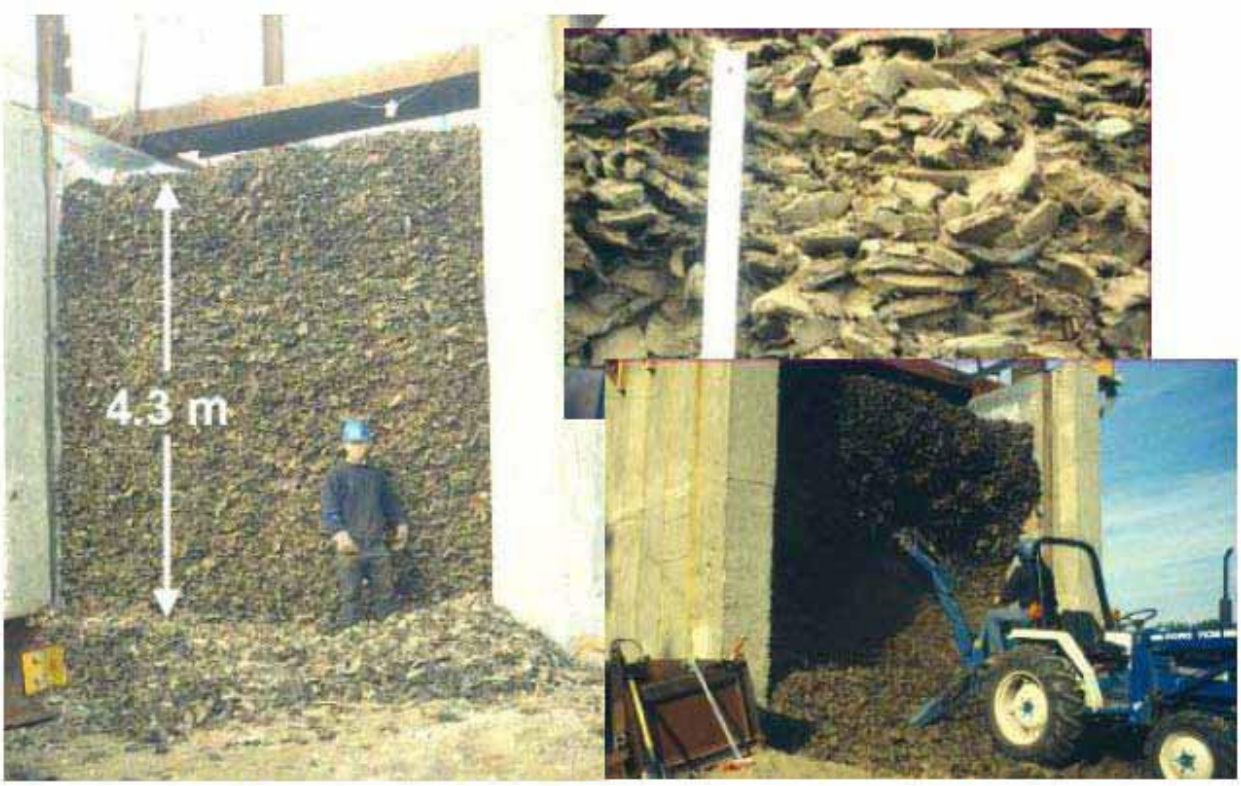


Figura 14 Retiro de la Sobrecarga y el Muro. Primer Plano de los TDA y el Uso del Azadón Posterior de Tractor para Retirar los TDA de la Estructura de Prueba.

Algunos de los beneficios de usar TDA como material de relleno posterior puede resumirse como sigue:

- Menor presión en el muro
- El coeficiente de presión lateral del terreno no es constante, varia con la profundidad
- Los resultados de presión lateral de terreno en reposo casi constante según lo visto en el gráfico anterior.
- Menos barra de refuerzo y/o muro de contención más fino debido a la menor presión
- Eliminación de neumáticos de chatarra

4.2 Muro 119, Riverside, CA

Se uso TDA como material de relleno posterior para un muro de contención construido a lo largo de la Ruta 91 en Riverside, California. 9,8 de los TDA fue colocado bajo el muro de contención de 12 pies de algo, y fue envuelto en una membrana geotextil para prevenir la intrusión de tierra (Kennec, Inc 2008). El desempeño del muro fue medido mediante la

instalación de cuatro tipos de indicadores: válvulas de tensión, células de presión, censores de temperatura y medidor de inclinación. Las siguientes fotos documentan la construcción del muro, la instalación de las sondas y la colocación del relleno posterior con TDA.

Figura 15. Muro 119, Construcción de un Muro de Contención

Figura 16. Muro 119, Instalación del Medidor de Tensión

Figura 17. Muro 119, Instalación de la Célula de Presión

Figura 18. Muro 119, Instalación del Sensor de Temperatura

Figura 19. Muro 119, Instalación del Medidor de Inclinación

Figura 20. Muro 119, Colocación de los TDA Desde el Camión

Figura 21. Muro 119, Compactación de los TDA

Figura 22. Muro 119, obra terminada

Este proyecto utilizó con éxito 1130 yardas cúbicas de hilos de neumático tipo B para un relleno de 262 pies de largo. Esto equivale a 76.500 PTE (equivalente de neumático por pasajeros). Se pueden encontrar más datos en www.usetda.com.

5.0 Resumen y Recomendaciones

Se presentó material general para utilizar los TDA como material de relleno posterior para muros de contención. Se demostró que los TDA tienen propiedades que los ingenieros necesitan en esta aplicación. Se discutieron los resultados de las pruebas a escala completa en un muro de contención con TDA como material de relleno posterior. Finalmente, el muro 119 construido por Caltrans en Riverside, California usando TDA como relleno posterior se presentó como estudio de caso. Se pueden usar un gran número de neumáticos de desecho en este tipo de aplicación.

Este capítulo debería alargarse para cubrir en más detalle los resultados de programa de prueba del muro con TDA realizado por la U. de Maine, así como los resultados del proyecto del Muro 119 en Riverside, California.

6.0 Referencias

1. California Waste Tire Generation, Markets, and Disposal [generación, mercados y eliminación de neumáticos de desecho en California]: Informe del personal de CIWMB, 2006

2. Humphrey, D. N. "Civil Engineering Applications Using Tire Derived Aggregate (TDA)" [aplicaciones de ingeniería civil usando agregado derivado de neumáticos TDA] For California Integrated Waste Management Board, 2003.

3. Humphrey, D. N. "Properties of Tire Chips for Light Weight Fill" [propiedades de las migas de neumático para el relleno ligero] Grouting, Soil Improvement, and Geosynthetics, ASCE, Vol 2, 1992, pp.1344-1355
4. Kennec, Inc. www.usetda.com, Consultado en 2008.
5. Tweedie, J.J. et al. (1998) " Tire Chips as Lightweight Backfill for Retaining Walls - Phase II," [migas de neumático como relleno posterior ligero para muros de contención – Fase II] un estudio para el consorcio de transporte de Nueva Inglaterra, Departamento de ingeniería civil y medioambiental, Universidad de Maine, Orono, Maine.
6. Tweedie, J.J. et al. (1998) " Full Scale Field Trials of Tire Chips as Lightweight Retaining Wall, At-Rest Conditions," [ensayos sobre el terreno a escala completa de las migas de neumático como muro de contención ligero, en condiciones de reposo] Transportation Research Record No. 1619, Transportation Research Board, Washington D.C., pp. 64-71
7. Tweedie, J.J. et al. (1998) " Full Scale Field Trials of Tire Chips as Lightweight Retaining Wall, Active Conditions," [ensayos sobre el terreno a escala completa de migas de neumático como muro de contención ligero, en estado activa] Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 124, No. 11, Nov., pp 1061-1070.

CIVIL 575 Gestión de Residuos Sólidos

Aplicaciones de Agregados Derivados de Neumáticos (TDA, en inglés) en Vertederos

1.0 Introducción

1.1 Trasfondo

Sólo en California se generan casi 40 millones de neumáticos de desecho cada año. La agencia medioambiental EPA en California calcula que 1.5 millones de estos neumáticos se acumulan o eliminan de forma ilegal. Estos neumáticos presentan problemas graves para la salud pública y el medio ambiente. La Figura 1 muestra un incendio de neumáticos que es muy difícil de extinguir.

Figura 1 – Los Incendios de Neumáticos son Difíciles de Apagar (CIWMB 2008)

1.2 Objetivos

Es necesario eliminar adecuadamente los neumáticos de chatarra de manera que se eviten las posibles amenazas para la salud humana y el medio ambiente. El uso de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil eliminará las amenazas potencias de acumular neumáticos de desecho al tiempo que se preservan los recursos naturales. Este capítulo introduce las aplicaciones de Agregados derivados de neumáticos (TDA) en

vertederos, incluyendo la recolección de lixiviado, recolección de gas, capa operativa, protección de tuberías y la cubierta diaria.

1.3 Agregados Derivados de Neumáticos

Los neumáticos de desecho se procesan en hilos de 2 a 12 pulgadas conocidos como TDA que se muestran en la Figura 2. Estos hilos son conocidos como agregados derivados de neumáticos o TDA. Los TDA se han usado como: relleno ligero para cementación de autopistas, relleno posterior de muros de contención, capas de mitigación de vibración para sistemas de ferrocarriles, capas de aislamiento para limitar la penetración de escarcha, capas de drenaje para vertederos.

Figura 2. Una Foto de los Agregados Derivados de Neumáticos

2.0 Propiedades Materiales de los TDA

Los agregados derivados de neumático poseen propiedades que los hacen candidatos ideales para su uso en aplicaciones de ingeniería civil. Los TDA constituyen un material ligero; su peso específico es de 40 a 60 libras por pie cúbico. Los TDA constituyen un material de drenaje libre; su permeabilidad es mayor a 10 centímetros por segundo. Debido a su bajo peso, los TDA tienen una presión de terreno baja, casi la mitad que los suelos. Los TDA son un aislante térmico excelente, que ofrece un aislamiento ocho veces mejor que la gravilla. Los TDA también son un material muy duradero y comprimible.

3.0 Aplicaciones de TDA en el Vertedero

La construcción de vertederos modernos mecanizados requiere grandes cantidades de material que posee las mismas propiedades que los TDA. Los TDA pueden usarse en muchas aplicaciones para vertederos. La normativa federal exige que los vertederos usen una capa de material con un alto contenido de vacío entre los residuos y la capa impermeable del vertedero con el fin de contener la lixiviación hasta su eliminación. Esta capa se conoce como la capa de drenaje o de operaciones. La Figura 3 muestra los TDA

como capa operativa. Los TDA es un buen material para esta aplicación gracias a su alta permeabilidad. En necesario recolectar el lixiviado producido en un vertedero debido a su naturaleza tóxica. Los vertederos tienen sistemas de recolección de lixiviado que requieren un material de alta permeabilidad como los TDA. Muchos vertederos tienen puntos bajos o sumideros donde se deja drenar el lixiviado y recolectar para su eliminación posterior. Los TDA se han usado como medio de recolección para ese lixiviado.

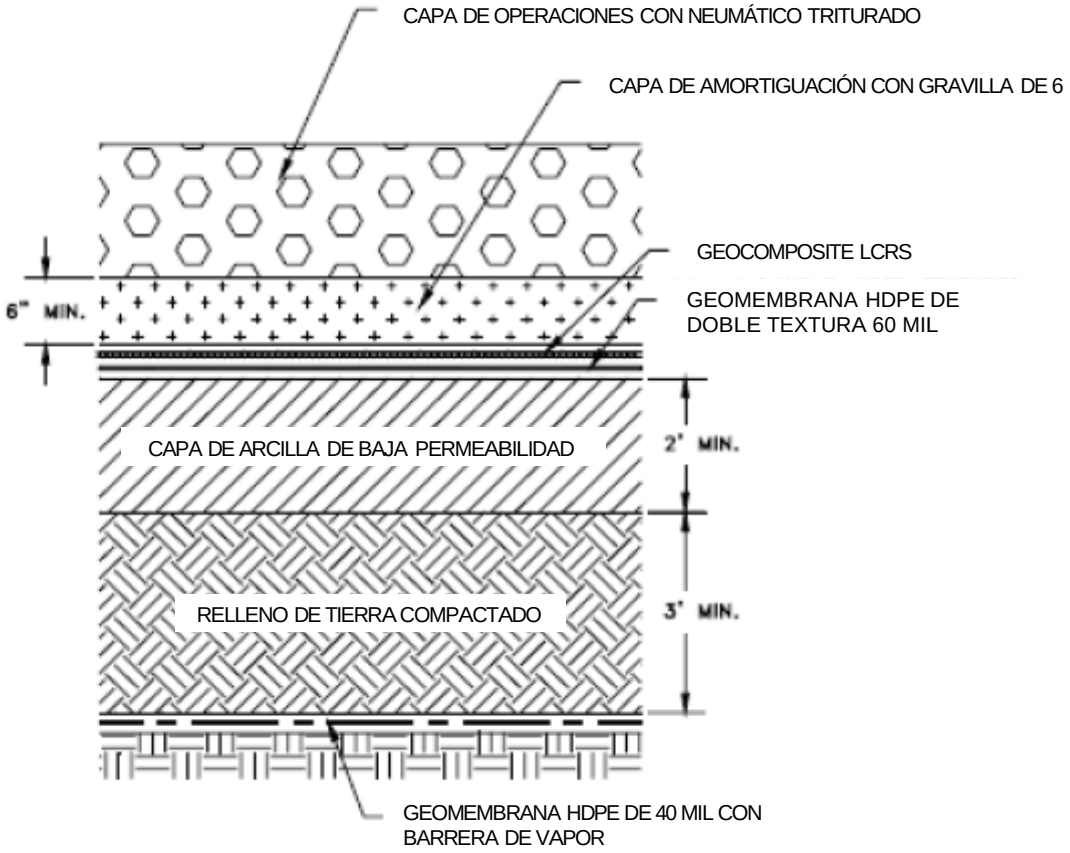


Figura 3. TDA como Material de capa Operativa

Los TDA también se han usado en sistemas de recirculación de lixiviado. En estas aplicaciones, los TDA se usan para aislar las tuberías perforadas que llevan el lixiviado de vuelta a la zona de relleno del vertedero. Los vertederos usan drenajes de pie para recolectar el lixiviado desde la base de los vertederos. En esta aplicación los TDA se usan como un medio recolector, en que se deja drenar el lixiviado hacia una trinchera con un tubo perforado al fondo y relleno con TDA. Los TDA permiten que el lixiviado drene libremente hacia la trinchera y aísla el tubo perforado para evitar su obstrucción y daño mientras el lixiviado fluye dentro del tubo.

La normativa estatal y federal exige que los vertederos controlen y recolecten el gas metano producido durante la digestión anaeróbica de los residuos orgánicos. El metano que se genera dentro del vertedero tiende a seguir el camino de menor resistencia. Los

TDA son un material excelente para los sistemas de control de gas debido a su alta permeabilidad. Los vertederos pueden usar trincheras de recolección de gas para extraer y capturar el gas metano. Las trincheras verticales que pasan a través del sellado impermeable del vertedero dejan que el gas metano escape del vertedor hacia un sistema de recolección. La trinchera vertical se compone de una tubería perforada rodeada de TDA. Este sistema permite que el metano se expulse del vertedero hacia un sistema de recolección. Los vertederos también usan sistemas de recolección de gas sin trincheras. En estos casos, se deja que el metano se expulse a través del sellado no permeable de pie, situado en al fondo del ascensor. Los TDA se colocan sobre en la puntera para permitir que el metano entre en el tubo perforado de recolección. Debido a la alta permeabilidad y durabilidad de los TDA, este material también se usa rutinariamente para proteger y aislar piezas del sistema de recolección de gas. Los TDA se usan asimismo para aislar tubos de recolección horizontales y para proteger bocas de pozo de gas que se muestran en la Figura 5.

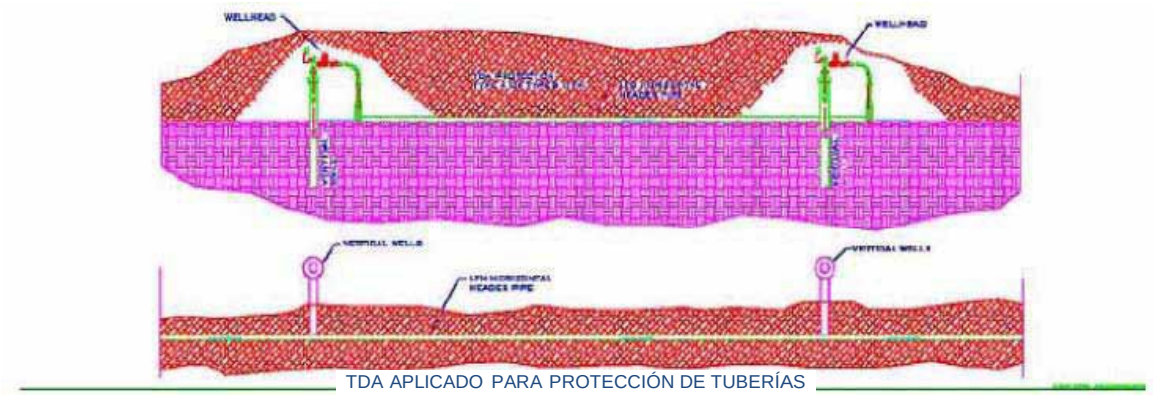


Figura 5. Uso de TDA como Protección de Tuberías de Gas

Ventajas de usar el material

En comparación con los agregados naturales, los TDA son una alternativa más barata en la mayor parte de los casos. El uso de los TDA utiliza un producto de desecho al tiempo que preserva los recursos naturales.

Desventajas de usar el material

Los TDA no se deberían usar bajo la capa freática. Tampoco se debería usar los TDA en capas situadas a más de 10 pies de profundidad.

4.0 Estudios de Caso

4.1 Vertedero del Condado Yolo

En el Condado Yolo (California) se construyó un vertedero con reactor biológico a escala completa. Este vertedero usa TDA en una capa de operación/drenaje. Los TDA están situados en una capa de dos pies sobre seis pulgadas de capa amortiguadora de gravilla sobre la geomembrana. Los TDA no deberían colocarse directamente sobre la

geomembrana porque los cables de acero de los TDA pueden dañar la geomembrana. El residuo fue colocado sobre los TDA. Los TDA permiten al lixiviado drenar a través suyo hacia un sistema de recolección. Casi 1,5 millones de neumáticos de desecho se usaron en este proyecto La Figura 6 muestra la obra terminada en el condado Yolo.

Figura 6. Un Vertedero con Bioreactor a Escala Completa se Construyó en el Condado Yolo.

4.2 Vertederos en Iowa

En 2002, se construyó una zanja de recirculación de lixiviado en el relleno sanitario del Condado Audobon. El sistema se usa para recircular el lixiviado según fuera necesario de vuelta al área de relleno del vertedero a través de la zanja de recirculación, cuando los niveles superiores de la laguna de almacenamiento del lixiviado a niveles críticos durante los meses húmedos. Se utilizó TDA como rellenar y aislar un tubo perforado situado dentro de la zanja excavada. La zanja fue excavada en el residuo existente para permitir que el lixiviado rebalsara para drenar de vuelta al vertedero. TDA con un tamaño nominal de 3 a 4 pulgadas sirvió como relleno posterior en capas de 3 a 5 pies. Los TDA aislaban el tubo de daños al tiempo que aseguraba que el lixiviado drenara libremente a través del tubo de vuelta al vertedero.

En 2002, el relleno sanitario regional del Condado de Des Moines, en Burlington (IA) construyó un drenaje de lixiviado accionado con el pie. Esta estructura utilizó TDA como medio de drenaje para recolectar el lixiviado desde la base del vertedero. Se excavó una zanja de recolección al fondo del levantamiento del vertedero y se coloco un tubo perforado HDPE de cuatro pulgadas en la base de la zanja. La zanja fue rellenada con 1.004 toneladas de TDA de 4 a 6 pulgadas de tamaño nominal. Se colocaron 24 pulgadas de tierra sin compactar sobre los TDA para permitir el cultivo de vegetación como forma

de controlar la erosión. Se colocó un geotextil en la parte superior de los TDA para servir de filtro. Se colocarán dos pies de suelo sin compactar encima del revestimiento para permitir el crecimiento vegetativo.

El vertedero Metro Park East en Mitchellville (IA) construyó un sistema de zanja de recirculación de lixiviado en 2003 similar al relleno sanitario del Condado de Audobon. El sistema se usa, según sea necesario, para recircular el lixiviado al área de relleno del vertedero, cuando los niveles superiores de la laguna de almacenamiento del lixiviado llegan a niveles críticos durante los meses húmedos. Un tubo perforado de 4 pulgadas de diámetro se aisló con TDA de valor nominal de 2 pies de 3 a 4 pulgadas y se relleno con arcilla no compactada. El tubo extendido por el área de relleno del vertedero permite al lixiviado drenar de vuelta al vertedero.

5.0 Resumen

Al usar TDA como material de construcción se aconseja seguir ciertas precauciones y recomendaciones. La norma ASTM D 6270 dice: “La responsabilidad del ingeniero de diseño es determinar la idoneidad del uso de neumáticos de desecho en una aplicación particular y seleccionar las pruebas y especificaciones aplicables para facilitar la construcción y la protección medioambiental”. La ASTM no recomienda usar TDA por debajo de la capa freática. Además, debido al calentamiento interno, los TDA no deberían colocarse en capas superiores a 10 pies. Los TDA no deberían colocarse directamente sobre una capa geosintética debido a la posibilidad de que los alambres en los TDA puedan dañar dicha capa. Los TDA deben estar libres de suciedad, cables sueltos, aceites y debe mantenerse tan limpio como sea posible. Los TDA que hayan estado sujetos a incendios no deben usarse porque el calor puede haber liberado el petróleo desde el neumático.

Los TDA son un material excelente para uso en aplicaciones de vertedero. En algunos casos es más barato que usar agregados naturales. Al usar TDA se está utilizando un producto de desecho al tiempo que preserva los recursos naturales.

6.0 Referencias

1. Humphrey, D.N., Civil Engineering Applications of Tire Derived Aggregates,[agregados derivados de neumático en aplicaciones de ingeniería civil] 2003 .
2. Barker Lemar. Scrap Tire Workshop - Construction Applications for Landfills.[taller de neumáticos de chatarra: aplicaciones de construcción para vertederos] 2005.
3. Yazdani, R., Jeff Kieffer, Heather Akau, Full Scale Landfill Bioreactor Project at the Yolo County Central Landfill.[proyecto de bioreactor de vertedero a escala completa en el condado de Yolo] Final Report, April 2002.

CIVIL 598 Materiales para Pavimentación con Asfalto

Asfalto Engomado

1.0 Introducción

1.1 Objetivos

Los propósitos de esta disertación es presentar a los estudiantes las definiciones técnicas del caucho asfáltico y el hormigón asfáltico engomado de mezcla caliente, así como discutir los procesos de diseño y presentar las diferentes mezclas disponibles para el asfalto engomado de mezcla caliente (RHMA).

1.2 Definiciones

El caucho asfáltico según la definición de la norma ASTM D8 es una mezcla de cemento asfáltico, caucho de neumático recuperado y algunos aditivos en la que el componente de caucho supone al menos el 15% del peso de la mezcla total y ha reaccionado en el cemento asfáltico caliente lo suficiente para que las partículas de caucho se hinchen. La norma ASTM D 6114 es la especificación estándar para el aglomerante de caucho asfáltico.

Los procesos húmedo y seco son métodos en los que se modifican los aglomerantes asfálticos, en este caso con un modificador de caucho triturado (CRM).

2.0 Tipos de Caucho Asfáltico

2.1 El Proceso Húmedo

El proceso húmedo puede producir una amplia variedad de aglomerantes modificados con CRM de alta viscosidad (mezcla sobre el terreno) a tipos sin agitación (mezcla terminal) que se muestran en la Figura 1. El proceso húmedo es el uso más extendido en los estados de Arizona, California, Florida y Texas. El CRM y otros componentes son mezclados a fondo con cemento asfáltico caliente de 400 a 425 °F. Se permite a la mezcla interactúan a 350 a 375°F durante 45 a 60 minutos donde las partículas CRM se inflan e intercambian aceites con el aglomerante asfáltico.

Figura 1 - Alta Viscosidad (Mezcla Sobre el Terreno) Versus Sin Agitación (Mezcla Terminal)

2.2 Proceso en Seco

El proceso en seco sustituye CRM por 1 al 3% de agregado en la mezcla caliente. Este proceso no se considera para modificar el aglomerante, aunque puede ocurrir alguna interacción con CRM asfáltico con el tiempo. El CRM que reemplaza al agregado tiene distintas gradaciones de gruesas (1/4") a finas (-#80). El historial de desempeño del caucho asfáltico de proceso seco se ha mezclado y actualmente se hace uso limitado de este método de modificación. En California está poco extendido el uso del proceso en seco.

3.0 Aglomerante para Caucho Asfáltico

Los aglomerantes de caucho asfáltico consisten en modificadores de caucho triturado, que incluyen caucho de neumáticos de desecho y caucho de desecho con un alto contenido de caucho natural, cemento asfáltico y aceite expansor basado en los estándares de California.

3.1 Modificador de Caucho Triturado

El CRM se produce al rallar completamente los neumáticos de desecho, hilos de pulidos y otros productos de caucho usados. El CRM está disponible en una variedad de gradaciones y denominaciones de tamaño de varios proveedores y/o fuentes. La gradación CRM y el contenido afectan no solamente a las propiedades del aglomerante AR, sino que también influye en la estructura de vacío de distintas mezclas. Los límites de gradación usados por Caltrans y ADOT son amplios y admiten bastante variación; se está evaluando hacer cambios.

CRM de caucho natural alto se usa para mejorar la adhesión y flexibilidad, contención de sellado de agregado de migas y para compatibilizar el asfalto y las interacciones de CRM. Tiene un alto contenido de caucho natural (40-48% por masa) y puede hacerse de neumático de desechos o de otras fuentes distintas a los neumáticos. La Figura 2 muestra una foto del caucho con alto contenido natural y de caucho de neumático de desecho

sintético. Caltrans también exige que se use ese “alto contenido natural” en aglomerantes para mezclas RHMA.

Figura 2 - Modificador de Caucho Triturado (CRM)

3.2 Cementos Asfálticos

El cemento asfáltico está disponible en una variedad de grados y denominaciones AR-4000 se ha utilizado para hacer asfalto engomado en el pasado. Caltrans adoptó en 2006 el sistema de desempeño por gradación (Performance Graded o PG, en inglés). Caltrans no usa asfaltos modificados como el cemento asfáltico para la modificación con CRM. Para zonas de alta montaña y desierto, se recomienda usar PG 58-22 como asfalto de base Para otras zonas (costera, valles interiores, montañas bajas y al sur, y desierto) se debería usar PG 64-16 como asfalto de base.

3.3 Aditivos

Añadir aceite expansor ayuda a la interacción del caucho triturado y el asfalto entregando aromas que son absorbidos por el caucho. También facilitan la dispersión al suspender químicamente el caucho en el asfalto, lo cual es una exigencia de Caltrans.

4.0 Diseño de Aglomerante Para Caucho Asfáltico

La interacción de asfalto y caucho depende de muchos factores, entre ellos: el origen y grado del cemento asfáltico, la cantidad, la gradación de origen y el tipo de caucho y la interacción de temperatura y tiempo. Se ha desarrollado un perfil de diseño para: evaluar la compatibilidad entre materiales, comprobar el cumplimiento de las propiedades de interacción de los componentes y revisar la estabilidad de la mezcla AR en el tiempo. Para mezclas calientes y las aplicaciones de aerosol, se requiere un perfil de diseño de 24 horas.

5.0 Tipos de RHMA

Se usan varios tipos de asfalto engomado de mezcla caliente = granulometría densa (uso limitado por Caltrans), granulometría discontinua, granulometría abierta y granulometría abierta modificada (con aglomerante alto, HB) son los tipos de mezcla de uso más común. La Figura 3 muestra las diferentes gradaciones de los agregados.

Figura 3 Comparación de gradación de los agregados para mezclas de agregado con granulometría abierta, discontinua y densa.

5.1 Mezclas de Granulometría Densa (RHMA-D)

El uso temprano de los RHMA de granulometría densa mostró mejoras limitadas de desempeño a mayores costes. La explicación de esto era el espacio de vacío no adecuado para acomodar suficiente aglomerante AR para modificar el comportamiento de la mezcla. Se ha suspendido el uso de aglomerantes de alta viscosidad.

5.2 Mezclas de Granulometría Discontinua (RHMA-G)

El RHMA-G es el tipo de mezcla RHMA más usado. Es una mezcla estructural que entrega mayor resistencia a: surcamiento, fatiga, agrietamiento por reflexión y obsolescencia por oxidación. El uso del RHMA-G es muy efectivo en levantamientos de superficie relativamente finos (máx. 60 mm) como revestimiento de pavimentos rígidos o flexibles, envejecidos o deteriorados que sean estructuralmente sólidos. Puede usarse como pista superficial para nuevas construcciones. El RHMA-G también es adecuado para un amplio rango de volúmenes y cargas de tráfico. Basado en la experiencia de Caltrans, RAC-G puede reducir el espesor de la capa de revestimiento en casi la mitad de la capa convencional. La figura -4 muestra una imagen del proyecto.

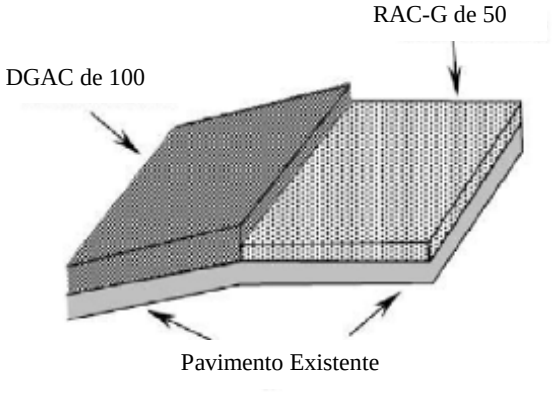


Figura 4. El RHMA-G usado como capa de revestimiento sobre hormigón asfáltico de granulometría densa convencional deteriorado.

5.3 Mezclas de Granulometría Abierta (RHMA-O)

Los RHMA-O han sido diseñados para proporcionar una superficie de drenaje libre (menos salpicaduras, rociado e hidrodeslizamiento) que mantiene buenas características de fricción en condiciones secas o húmedas. Esas mezclas no se consideran elementos estructurales por lo que no se aplica una reducción de espesor. Los RHMA-O se suelen colocar en levantamientos finas, con un espesor nominal de 24 a 30 mm. La mezcla RHMA-O puede usarse como revestimiento o para superficie en construcciones nuevas donde el flujo de tráfico no es interrumpido por señalización, tales como autopista y algunas carreteras secundarias y rurales.

No se recomienda usar mezclas de granulometría abierta donde haya una cantidad de tráfico constante o vehículos que dan la vuelta, tales como carreteras urbanas o en aparcamientos. Estos pavimentos de módulo poroso bajo son susceptibles a sufrir rasguños de neumáticos por movimientos simultáneos de frenado y girado, y a dañarse por los fluidos que se filtran de los vehículos. Caltrans no usa RHMA-O en zonas con nieve.

5.4 Mezclas de Granulometría Abierta (RHMA-O-HB)

Las mezclas de RHMA-O-HB tienen mayor contenido de aglomerante (1,6 veces la necesaria para el asfalto PG en vez de 1,2). El aglomerante HP ofrece pista de fricción mejorada, durabilidad y desempeño debido a las películas de aglomerante AR más espesas. RHMA-O-HB no drena tan libremente como RHMA-O debido a su mayor contenido de aglomerante, pero todavía posee más drenaje libre que DGAC.

6.0 Precauciones

Las especificaciones y métodos de diseño de mezclas discutidos en esta presentación se aplican al uso de aglomerante de alta viscosidad para asfalto engomado (mezcla sobre el terreno) en mezclas de granulometría discontinua y abierta RHMA. Nunca se debe sustituir directamente aglomerantes que no requieren agitación (baja viscosidad, mezcla

terminal) por aglomerantes de alta viscosidad en ninguna mezcla RHMA. Los dos tipos distintos de aglomerantes modificados CRM tienen rangos de viscosidad muy distintos y se comportan de forma diferente en las mezclas calientes de hormigón asfáltico.

7.0 Resumen

En este capítulo se introducen las definiciones de material relacionados con el caucho asfáltico incluyendo el proceso húmedo, proceso seco, mezcla sobre el terreno, mezcla terminal, asfalto de base. Destacamos la importancia de las exigencias de temperatura, viscosidad y perfil de diseño de mezcla del caucho asfáltico. Finalmente, este capítulo cubrió diferentes tipos de hormigón asfáltico engomado de mezcla caliente:

- RHMA-D: no se usa con frecuencia porque no tienen suficientes vacíos para acomodar el caucho asfáltico de alta viscosidad.
- RHMA-G: la mezcla puede usarse como capa estructural. Puede usarse con espesor reducido porque tiene una alta capacidad de resistencia a las grietas en comparación con el aglomerante asfáltico convencional.
- RHMA-O: la mezcla puede usarse porque reduce las salpicaduras y aumenta la seguridad durante los días lluviosos. Puede usarse para reducir el ruido de autopistas, y
- RHMA-O-HB Su alto contenido de aglomerante hace que esta mezcla sea muy durable. Puede reducir el agrietamiento por fatiga. También puede reducir la obsolescencia y oxidación del aglomerante.

8.0 Referencias

1. ASTM D8 Standard Terminology Relating to Materials for Road and Pavements. [Terminología estándar sobre materiales para carreteras y pavimentos] 2002.
2. ASTM D6114. Standard Specifications for Asphalt-Rubber Binder [Especificación estándar para aglomerante para asfalto engomado]. 1997.
3. Caltrans. 2003. Guía de Uso del Asfalto Engomado
4. Caltrans Report, Use of Scrap Tire Rubber - State of the Technology and Best Practices[Uso de caucho de neumático de desecho: estado de la tecnología y mejores Prácticas]
5. Caltrans Report, Synthesis of Caltrans Rubberized Asphalt Concrete Projects [informe de Caltrans, Síntesis de los proyectos de hormigón asfáltico engomado de Caltrans]
6. Caltrans. 2002. Flexible Pavement Rehabilitation Manual [Manual de reparación de pavimento flexible]
7. Asphalt Rubber Design and Construction Guidelines [Directrices de diseño y construcción con asfalto engomado]
8. Caltrans. 2007. Caltrans Highway Design Manual [manual de diseño de autopistas de Caltrans]

Anexo D

Presentación en la 4ª Conferencia de Hormigón Asfáltico Engomado

Coste de Ciclo Vital para los Materiales de Pavimentación con Caucho Asfáltico

por
R. Gary Hicks y Ding Cheng del
CP2 Center
preparada para
la 4ª conferencia sobre
asfalto engomado,
el 7-8 de mayo de 2009 en
Akron, OH

Esquema de Presentación

- Trabajo realizado para RPA en LCCA
- Trabajo preliminar realizado para el Center by Sousa and Way, 2009
- Conclusiones

2

Trasfondo

- El caucho asfáltico se ha venido usando desde la década de 1960
- Los usos principales incluyen:
  - Sellos con gravilla
  - Capas intermedias
  - Aplicaciones de mezcla caliente
- Otros usos
  - Sellado de grietas
  - Membranas

3

Sellos con Gravilla

- Su uso comenzó en la década de los 60
- Se utilizo para mantenimiento preventivo
- Ahora lo usan muchas agencias

4

Sellos con Gravilla

5

Capas Intermedias

- Se usa para prevenir el agrietamiento por reflexión
- Se usa en sistemas de dos o tres capas
- Utilizado por varias agencias

6

Asfalto de Mezcla Caliente

- usado en mezclas de granulometría discontinua, abierta y densa
- Se usan principalmente en Arizona, Florida, Texas y California
- Su espesor reducido es permitido por algunas agencias (Caltrans)

7

Proceso LCCA

- Establece estrategias de análisis periódico
- Establecer cronograma de actividad M&R
- Costes estimados de agencia
- Costes estimados para usuarios y no usuarios
- Desarrollar flujos de gastos
- Presencia de red informática, valor actual
- Analizar resultados

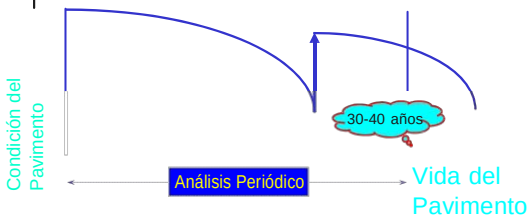
8

Establece Estrategias y Cronograma

- ¿Qué?
- ¿Cuando?
- ¿Durante cuanto tiempo?

9

Análisis Periódico



10

Costes de Agencia

- Diseño e ingeniería
- Construcción inicial
- Rehabilitación y mantenimiento

11

Costes de Usuario y no Usuario

- Operación de vehículos
- Retraso de usuario
- Accidente
- Impacto a los comercios adyacentes
- Molestias para los residentes locales

12

Desarrollar Flujos de Gastos

- Costes de agencia
- Costes de Usuario y no Usuario
- Valor residual

13

Calcular el valor presente neto (NPV)

$$NPV = \text{Coste inicial} + \sum_{K=1}^{N} \text{Coste Futuro} \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

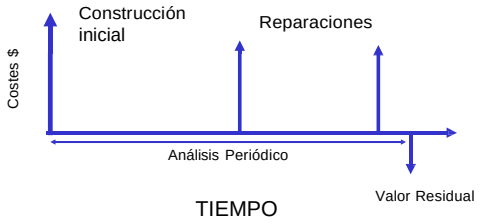
donde ?

i = tasa de descuento

n = año de gasto

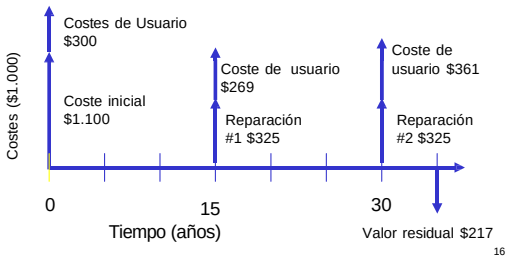
14

Flujo Típico de Gastos



15

Valor Presente Neto



16

Analizar Resultados

- Enfoque determinístico (con/ sin variabilidad)
- Enfoque probabilístico (con variabilidad)

17

Ejemplo de Formulas LCCA

- Preservación del sistema: sellado de migas
- Preservación del sistema con capa de revestimiento caliente fina
- Revestimiento estructural: espesor reducida

18

Entradas

- Tasa de descuento, % 2.5, 4.0, 5.5
- Periodo de análisis, años 40
- Vida media esperada Conv. AR
  - Sellos con gravilla 5 10
  - Cubierta HMA fina 3 7
  - Cubierta HMA espesa 10 15

19

Costes de Agencia - Media

Tratamiento	Conv.	AR
Sellos con gravilla ($/yarda al cuadrado)	1.00	2.00
Capas HMA ($/tonelada)	35	50
Mantenimiento de rutina ($/yarda al cuadrado por año)	0.15	0.15

20

Rangos de Costes y Vidas

- Alto: se excede el 10% del tiempo
- Bajo: se excede el 90 % del tiempo
- Medio: se excede el 50 % del tiempo

21

Escenarios Investigados

Preservación del sistema	Alternas
- Sellos con gravilla	Sello de gravilla convencional seguido de 100 mm de HMA-DG
	Sello de gravilla AR seguido por 50 mm de RHMA-GG sobre 50 mm HMA-DG.
- Capas de revestimiento calientes y finas	25mm HMG-DG seguido por 100 mm de RHMA-DG
	25mm RHMA-GG seguido por 50 mm de RHMA-GG sobre 50 mm de HMA-DG

22

Escenarios Investigados (cont.)

Preservación del sistema	Alternas
Capas estructurale	100 mm HMG-DG seguido por 100 mm de RHMA-DG
	100 mm HMA-GG seguido por 50mm de RHMA-GG

23

Resultados: Enfoque Determinístico

Escenario	Valor Actual ($/yarda)	
Preservación de sellado con gravilla		
- Convencional	18.39	
- AR	15.87	2.25
Preservación HMA fina		
- Conventional	20.69	
- AR	17.33	3.36
Capa Estructural		
- Conventional	21.97	
- AR	14.63	7.34

24

Resultados: Modelo Probabilístico

Escenario	Porcentaje de ahorro en tiempo usando AR
Preservación de sellado con gravilla	86
Preservación HMA fina	82
Capa Estructural	86

25

Conclusiones LCCA

- El caucho asfáltico es económico para los escenarios evaluados.
- Cuando se considera la variabilidad de los insumos, la alternativa AR es la mejor opción en más del 80% del tiempo
- Los resultados del estudio deben ser actualizados para incluir el caucho asfáltico y las mezclas terminales.

26

Parte 2 Estudio para el Centro y Caltrans

- Trabajo realizado por Sousa y Way
- Borrador terminado a principios de 2009
- Enfoque analítico para calcular los beneficios en la extensión de vida útil del caucho asfáltico
- Los resultados son preeliminares

27

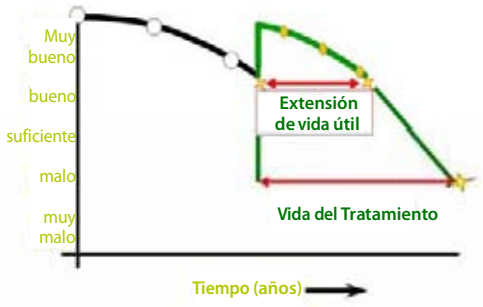
Propósito del Estudio

- Calcular de manera racional (objetiva) la vida útil del tratamiento y la extensión de la vida útil del pavimento.

Subjetiva ≈ Objetivo

28

Definición de Vida de tratamiento y extensión de vida



Objetivo del estudio

- Desarrollar un modelo analítico para calcular la vida del tratamiento y la extensión de la vida útil.
- Complicación: falta de datos de tratamiento complican la base de datos PMS de California
  - Agrietamiento
  - Estructural

30

Se requiere un modelo objetivo

- Variables incluidas
  - Tráfico
  - Clima
  - Condición del pavimento existente

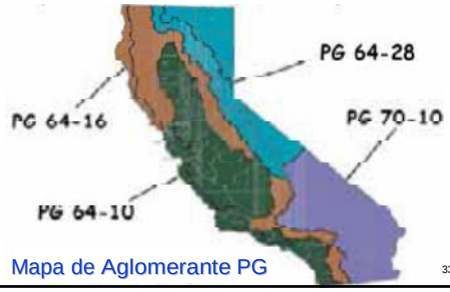
31

Tráfico (TI)

- Índice de tráfico bajo (TI) <6
- Intermedio 6< TI >12
- Alto TI>12

32

Clima Regiones



Mapa de Aglomerante PG

33

Condición del pavimento existente

- Buena: deterioro menor (<5% de agrietamiento)
- Regular: deterioro menor a moderado (5-20% de agrietamiento)
- Mala: deterioro moderado a severo (>20% de agrietamiento)

34

Los tratamientos deberían funcionar mejor si tienen

- Más aglomerante (dentro de un límite)
- Aglomerante modificado
- Capas más espesas (más resistentes al agua)

35

Medida de objetivo propuesto (TPC)

- Capacidad de desempeño del tratamiento (TPC) es una función de
  - Contenido total de aglomerante por área
  - Energía de deformación al punto de fallo
  - Espesor del tratamiento
- Medida sobre el terreno es la “extensión real de la vida útil”

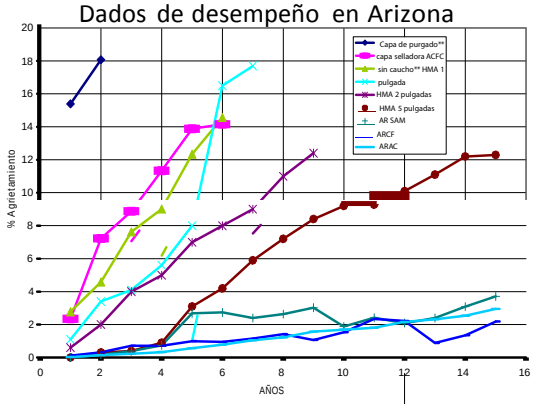
36

Otros factores a considerar

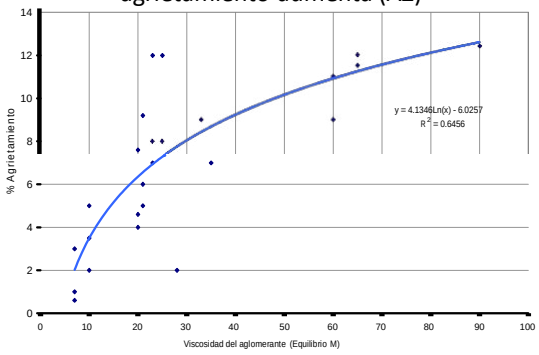
- Datos de desempeño del tratamiento
- Obsolescencia del aglomerante
- Coste del tratamiento
- Extensión de vida útil

37

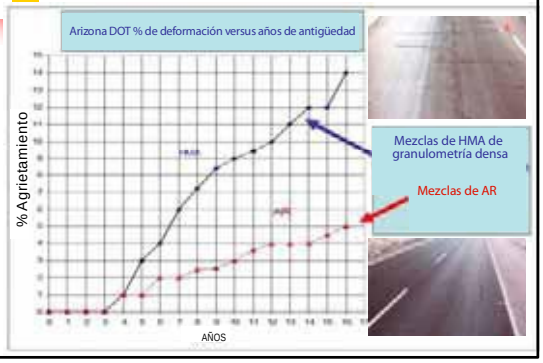
Dados de desempeño en Arizona



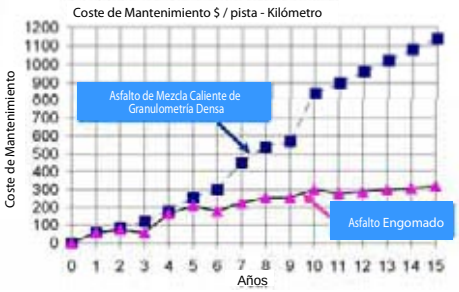
A medida que el aglomerante envejece, el % de agrietamiento aumenta (AZ)



HMA versus RHMA



Comparación del Coste de Mantenimiento



41

Extensión de vida prevista para el valle de California

Tratamiento	Extensión de vida prevista para regiones de costa y valle					
	Tráfico bajo		Tráfico moderado		Tráfico alto	
	Condición del Pavimento					
	bueno	suficiente	bueno	suficiente	bueno	suficiente
AR Sellos con gravilla	3.8	2.8	3.3	2.2	3.2	1.9
RAC-G, 1 pulgada	2.8	1.6	2.8	1.6	2.8	1.6
RAC-O, 1pulgada	2.8	1.8	2.8	1.8	2.8	1.8
RAC-O-HB, 1pulgada	3.3	2.6	3.3	2.6	3.3	2.6

42

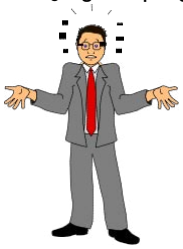
El estudio está actualmente en revisión

- Por Caltrans, División de manejo de pavimentos y Center CP2
- Esperamos poder subir los estudios preliminares al sitio web en un futuro cercano en www.cp2info.org/center

43

Fin

¿Alguna pregunta?



45

Anexo E

Formulario de Evaluación del Taller de Muestra

Evaluación del Taller Para Formación de Profesores

Enseñanza de Aplicaciones de Agregados Derivados de Neumáticos de Desecho y Pavimentación Con Asfalto Engomado de Mezcla Caliente en el Programa de Ingeniería Civil

17 de Abril de 2009

Por favor, dedique algunos minutos a rellenar este formulario de evaluación. Su opinión es importante para ayudarnos a mejorar la calidad de nuestro taller y para hacer mejoras continuas al programa.

Su Nombre (opcional): _____

Primera parte. De su evaluación del Taller marcando las casillas que se ajusten a su evaluación.

Calidad de la Formación	Mala (1)	Regular (2)	Buena (3)	Muy Buena (4)	Excelente (5)
1. ¿Cuál es su valoración general de este taller?					
2. ¿Cree usted que esta formación será beneficiosa para enseñar aplicaciones de neumáticos de desecho?					
3. Conocimiento general de los ponentes sobre los temas abordados.					
4. Estilo de presentación general de los ponentes					
5. Los temas se presentaron siguiendo un orden lógico					
6. Utilidad del Material Utilizado					

Segunda Parte Por favor describa sus opiniones sobre las fortalezas y debilidades del taller

1. ¿Cuáles piensa usted que fueron los puntos fuertes del taller?

_____
_____
_____

2. ¿Cuáles piensa usted que fueron los puntos débiles del taller?

_____
_____
_____

3. ¿Qué sugeriría usted para mejorar este taller? ¿Cree usted que un curso en línea o un seminario basado en la web sería útil?

_____
_____
_____

4. Me gustaría recibir información adicional sobre los siguientes temas:

_____
_____
_____

5. ¿Cómo se enteró usted de este seminario?

_____
_____

6. ¿Piensa usted usar algún material presentado aquí en sus clases? Si responde no ¿por qué no?

_____
_____
_____

7. ¿Tiene usted otros comentarios o sugerencias? _

1. El personal que trabaja en el Consejo CIWMB debería asistir al taller. Albert llamara a Profesores.
2. Escolaridad, materiales_____
3. Combinar aplicaciones reales con disertaciones.

3. Organizar seminarios de enseñanza para algunas universidades. Llamar a los profesores sería más efectivo.
4. múltiples disertaciones en múltiples clases._____
_____

Tercera Parte. Por favor describa sus opiniones sobre las presentaciones y los ponentes:

Calidad de la Formación	Mala (1)	Regular (2)	Buena (3)	Muy Buena (4)	Excelente (5)
Presentación: Introducción al Diseño de Ingeniería Civil – Ding Cheng					
1. La presentación aumentó su conocimiento del tema					
2. La presentación fue profesional y pertinente					
3. Recomendaría este presentador para otros eventos					
Presentación: Asfalto Engomado de Mezcla Caliente 101 – Gary Hicks					
1. La presentación aumentó su conocimiento del tema					
2. La presentación fue profesional y pertinente					
3. Recomendaría este presentador para otros eventos					
Presentación: TDA en Resistencia de Materiales y Hormigón – Joel Arthur					
1. La presentación aumentó su conocimiento del tema					
2. La presentación fue profesional y pertinente					
3. Recomendaría este presentador para otros eventos					
Presentación: Estudios de Caso de Ingeniería de Aplicaciones TDA en CA – Joaquim Wright					
1. La presentación aumentó su conocimiento del tema					
2. La presentación fue profesional y pertinente					
3. Recomendaría este presentador para otros eventos					

Muchas gracias por su participación en el taller. ¡Nuestros Mejores Deseos!

Aplicaciones de productos de neumáticos de desecho en Ingeniería civil

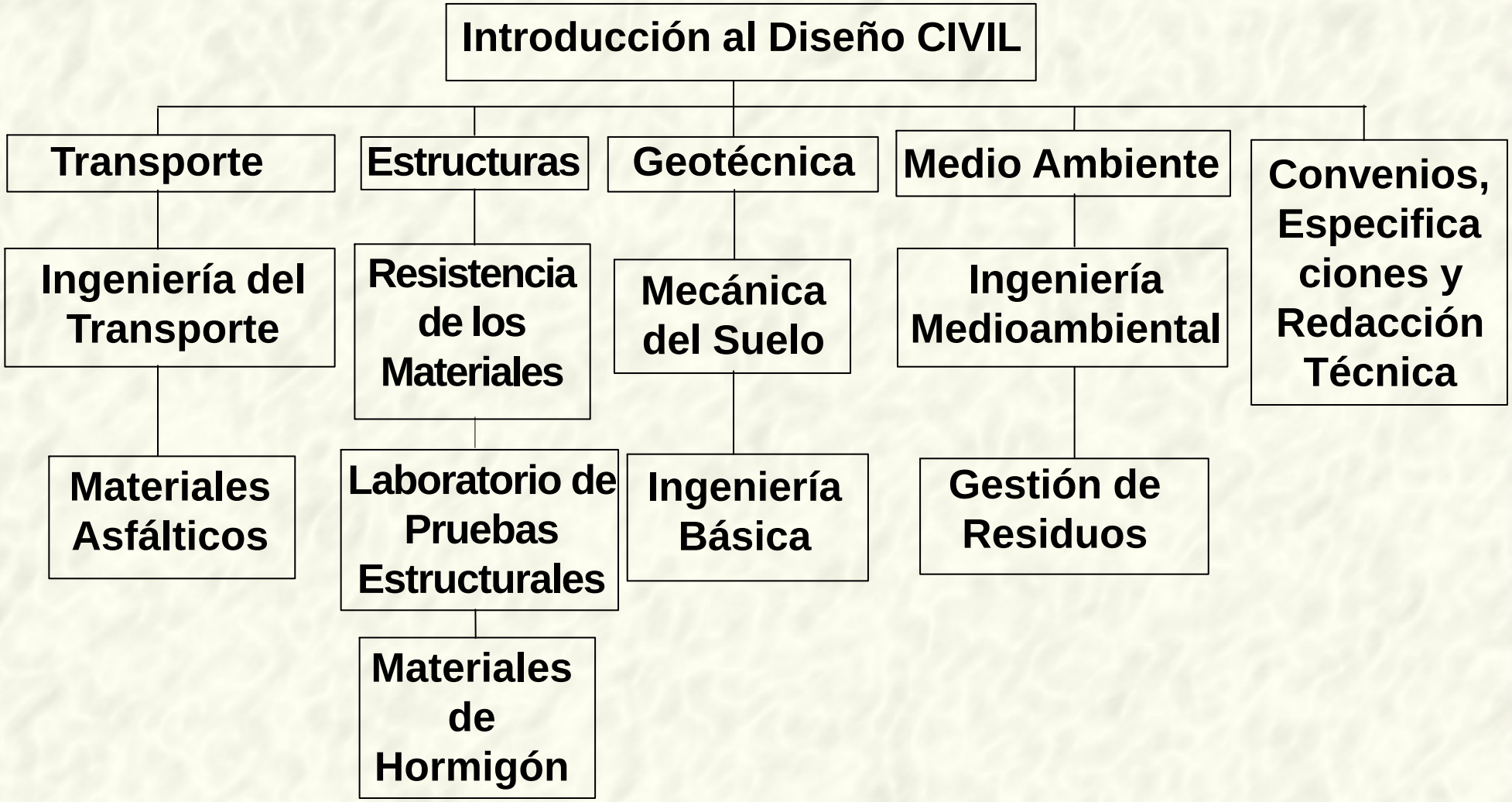
Introducción al Diseño de Ingeniería Civil

California State University (CSU), sede Chico

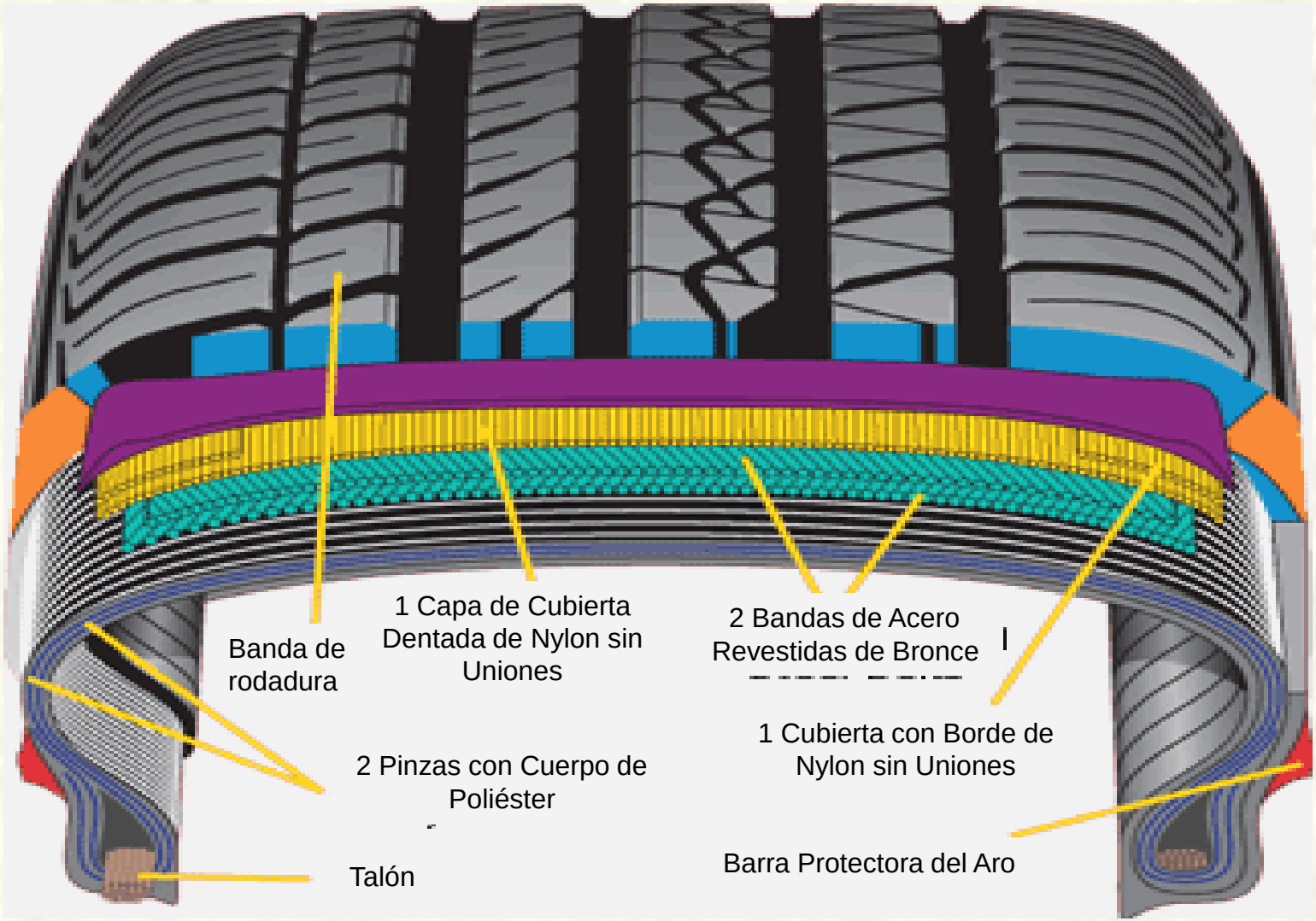
Introducción

- Trasfondo
- Beneficios del uso de TDA (agregados derivados de neumáticos)
- Aplicaciones en Ingeniería Civil
  - Material de Relleno Ligero
  - Relleno Para Muro de Contención
  - Material Filtrante Para Drenajes
  - Materiales Asfálticos con Caucho Para Pavimentación
  - Otros
- Desafíos y Obstáculos
- Otros Cursos Relacionados con Aplicaciones de Neumáticos de Desecho

Plan de Ruta Para el Programa de INGENIERÍA CIVIL Relacionado con Aplicaciones de Neumáticos de Desecho



Composición de los Neumáticos



Problemas

Ya hay millones de neumáticos usados apilados en grandes montones: tanto de forma legal...

Problemas

....como ilegal

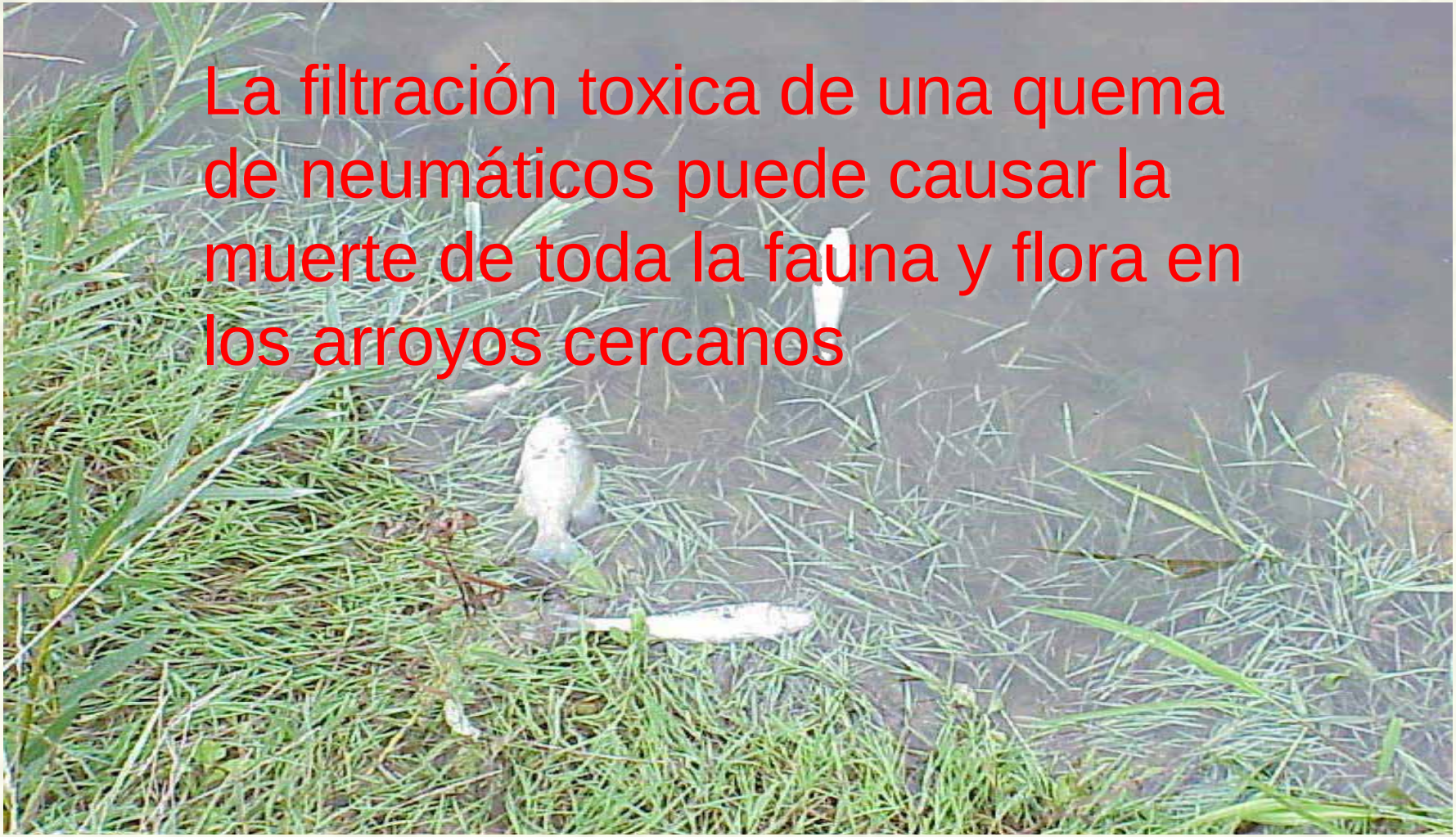
Problemas Medioambientales

Problemas Medioambientales

La quema de neumáticos libera metales pesados y otros componentes tóxicos que van a parar a arroyos y se filtran a los pozos superficiales

- Arsénico
- Cromo
- Plomo
- Manganeso
- Níquel
- Mercurio
- Cadmio
- Petróleo

Problemas Medioambientales



Uso de Neumáticos Usados en California

- Cada año se generan 40,2 millones de neumáticos reutilizables y de desecho y aproximadamente 1,5 millones de neumáticos usados se almacenan o tiran ilegalmente
- Las aplicaciones de CE de neumáticos de desecho en California incluyen:
  - Agregados Derivados de Neumáticos (TDA)
  - Asfalto Engomado de Mezcla Caliente (RHMA)

Proceso de Trituración de Neumáticos

Reciclaje de residuos de neumáticos ECOTIRE

Agregados Derivados de Neumáticos (TDA)

Beneficios de los TDA

- Los TDA posee propiedades que necesitan los ingenieros civiles:
  - Peso ligero
  - Baja presión lateral del terreno
  - Buen aislamiento térmico
  - Buen/a drenaje/conductividad hidráulica
  - Comprimible

Beneficios de los TDA

- ¡Se pueden usar muchos neumáticos!
  - 75 neumáticos por C.Y. de relleno TDA
  - 100 neumáticos por tonelada
  - 2.000 neumáticos por milla de pista de pavimento asfáltico engomado
  - 662.770 neumáticos para el Dixon Landing Embankment en Milpitas, CA
  - 83.700 neumáticos para un muro de contención 119, de 300 pies en la ruta 91, California

Rango de Aplicaciones en Ingeniería Civil

- Materiales Asfálticos con Caucho Para Pavimentación
- Relleno ligero para cementación de carreteras
- Relleno para muro de contención
- Capa antivibración bajo las líneas férreas
- Capa aislante para limitar la penetración de escarcha en carreteras
- Vertedero y aplicación medioambiental

Beneficios del hormigón asfáltico engomado

- Mejora la tracción
- Aumenta la durabilidad
- Reduce el ruido
- Reduce la vibración
- Reduce la necesidad de mantenimiento
- Reduce rociados/salpicaduras cuando llueve
- Usa virutas de residuos de neumáticos (2.000 neumáticos de desecho por milla de pista)

Reducción del Ruido y la Vibración

Reducción del efecto de Salpicado/Roció

Aplicaciones en ingeniería civil en los Estados Unidos

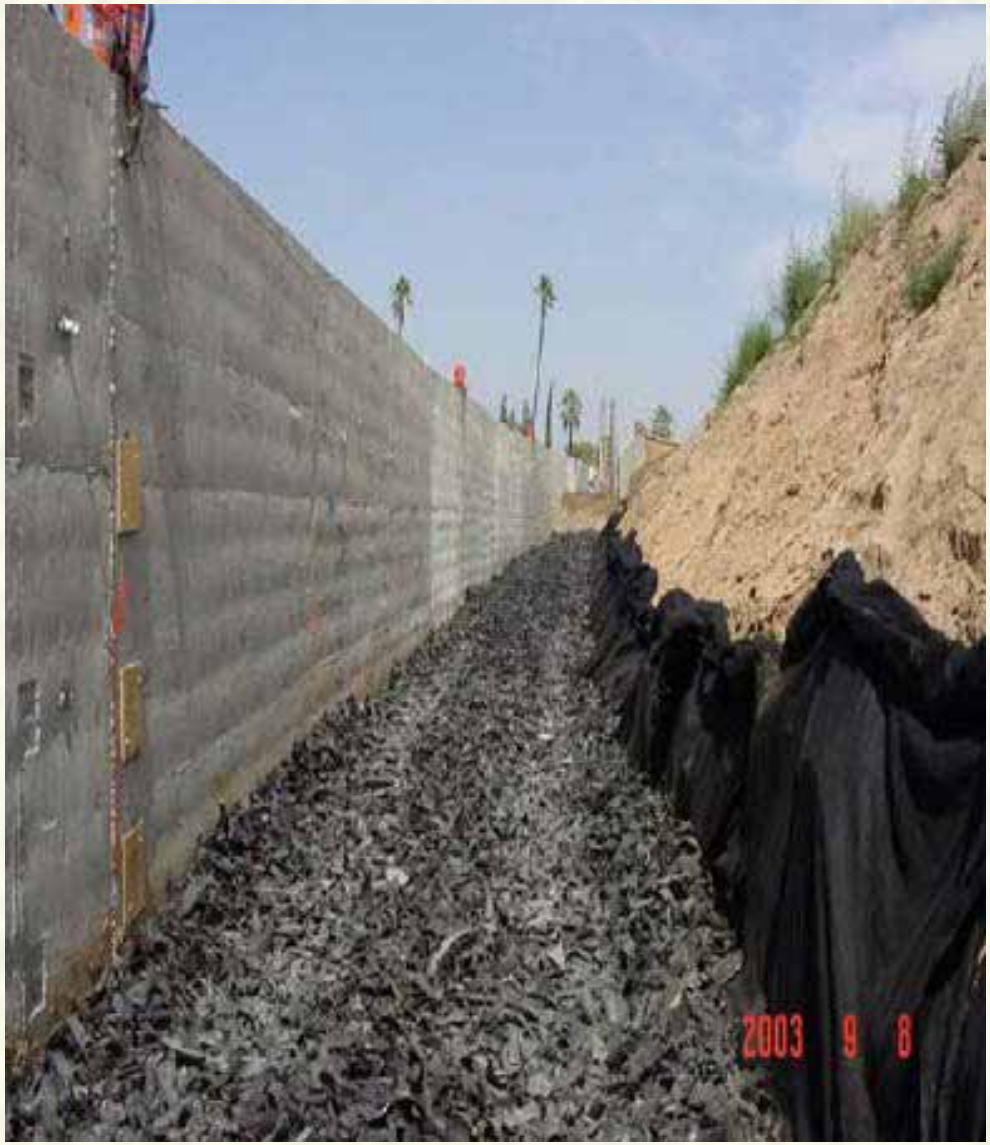
- El uso de residuos de neumáticos de mayor crecimiento
- Aproximadamente 60 millones de neumáticos al año se usan en aplicaciones CE

Relleno ligero para cementación de carreteras

- Las tiras de neumático son factibles para esta aplicación debido a su poco peso.
- Para la mayoría de proyectos, el uso de tiras de neumático como material de relleno ligero es significativamente más barato que otras alternativas.
- Para la cementación de una carretera en Virginia se usaron 1,7 millones de neumáticos

Relleno para muro de contención

- El peso de las tiras de neumático permite la construcción de muros de contención más finos y baratos.
- Los TDA pueden reducir los problemas causados por el agua y la formación de escarcha detrás del muro, porque tienen drenaje libre y son un buen aislante térmico.



Capa antivibración bajo las líneas férreas

Los TDA son una buena forma de reducir las vibraciones molestas producidas por el paso de los trenes

Capa aislante para limitar la penetración de escarcha en carreteras

- Colocar una capa de tiras de neumático bajo una carretera puede evitar que el terreno bajo la superficie se congele.
- Además, la alta permeabilidad de las tiras de neumático permite que el agua se drene bajo las carreteras, evitando así el daño a su superficie.

Vertedero y aplicación medioambiental

- Alternativa de Cubierta Diaria e Intermedia
- Protección Para Tubería de Gas en Vertederos
- Capas de Drenaje en Cubiertas de Vertederos
- Sistema de Recolección y Eliminación de Lixiviado
- Zanjas de Extracción de Gas en Vertederos

Obstáculos Para el Uso de Materiales Reciclados: Aspectos de Ingeniería Civil

- Sus propiedades de ingeniería no han sido determinadas completamente
- Falta de datos de desempeño a largo plazo
- Falta de estándares o manuales de diseño
- Los ingenieros civiles son reacios al riesgo

Obstáculos Para el Uso de Materiales Reciclados: Problemas Medioambientales

- Su composición química es compleja
- Se desconocen los efectos medioambientales a largo plazo
- La percepción del público – si son residuos ¡deben ser malos!
- Complicado proceso de aprobación de la normativa
- Los organismos de regulación medioambiental son reacios al riesgo

Obstáculos Para el Uso de Materiales Reciclados: Problemas de Construcción

- Pueden necesitarse nuevos procedimientos y equipos
- Dificultad para calcular aproximadamente el coste “sobre el terreno”
- El suministro no está asegurado, tanto en cantidad como calidad
- Algunas veces es más caro que la construcción convencional
- Los contratistas evitan el riesgo

Superación de los Obstáculos

- Estudios de laboratorio para establecer las propiedades de ingeniería
- Estudios de laboratorio para establecer el impacto medioambiental
- Proyectos piloto de construcción (a escala total o casi total)
- Supervisión de la ingeniería y desempeño ambiental a largo plazo
- Modificar las especificaciones, etc., según sea necesario
- Desarrollar estándares nacionales y/o regionales
- Educación – abordar las inquietudes directamente y centrarse en los beneficios

Calibrado y Aplicaciones de los TDA

Tipo A (menos de 3 pulgadas) - drenaje, aislamiento, reducción de vibración

Tipo B (menos de 12 pulgadas) - relleno ligero

Tipos de asfalto engomado de mezcla caliente

RHMA-O – Hormigón Asfáltico de Granulometría Abierta

RHMA-G – Hormigón Asfáltico de Granulometría Discontinua

RHMA-O **RHMA-G** **RHMA-D**

Normativa Disponible

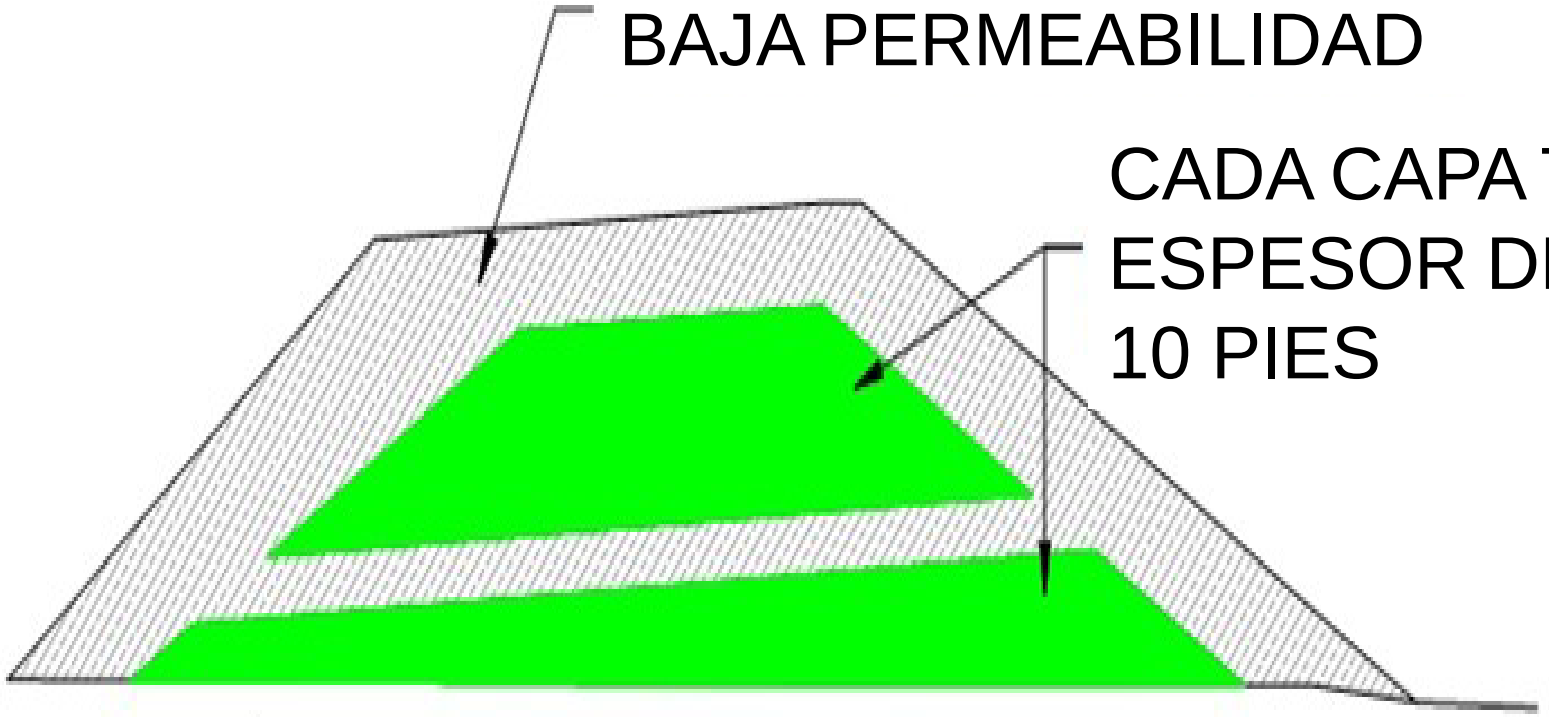
- ASTM D6270 "Civil Engineering Applications of Scrap Tires" (aplicaciones de ingeniería civil para neumáticos de desecho)
- Normativa FHWA para limitar el calor en los rellenos
- Estudios de la agencia estadounidense del medioambiente (Environmental protection agency o EPA) sobre impacto medioambiental

Proyecto exitoso de cementación de los TDA

Intercambio de Dixon Landing

- PROBLEMA: Cementación Construida en Plataforma de Barro
- SOLUCIÓN: Uso de TDA para el núcleo de la cementación
- SOLUCIÓN MÁS BARATA: se ahorraron $230.000 USD

Corte Transversal Típico



Evitar el Calentamiento de la Cementación

- Sin TDA no contaminado con gasolina, petróleo, lubricante, etc.
- Limitar los TDA de tamaño fino
- El espesor máximo de la capa TDA es de 3 metros (10 pies)
- Minimizar el contacto del relleno con el agua y el aire

Descarga de TDA

Expansión con Excavadora

Compactación con Rodillo de 10 toneladas

Costes por Unidad

- Costes de instalación de TDA (incluyendo geotextil) = 3,74/yd^3
- Gastos de adquisición y transporte de TDA = \$23,66/yd^3
- Coste sobre el terreno de TDA = \$27/yd^3
- Coste sobre el terreno de agregado ligero = \$50/yd3

Ahorro en Costes

- Ahorro de costes a CALTRANS usando TDA suministrado de forma gratuita por CIWMB = $477.000
- Ahorros en coste al estado menos el precio de compra de los TDA = $230.000

Ejemplo de Problemas

- Si necesitamos 5000 yd^3 de relleno compactado, ¿cuánto volumen de TDA se necesitará del pozo de suministro? Para este problema el factor de expansión es 1,5.

Conclusiones

- Los obstáculos para usar materiales reciclados pueden superarse
- Los TDA posee propiedades que necesitan los ingenieros
- Las aplicaciones de ingeniería civil son el tipo de uso para residuos de neumáticos de mayor crecimiento en los Estados Unidos
- Existen algunas especificaciones y normativas disponibles
- Efectos Medioambientales Manejables

GRACIAS

¿PREGUNTAS?

Programa Universitario Disertaciones por Capítulo

Módulo 1 CIVIL 131: Introducción al Diseño de Ingeniería Civil

EXENCIÓN DE RESPONSABILIDAD

Los contenidos de estos capítulos son provisionales. Han sido elaborados solamente a título informativo. El propósito de estos capítulos es servir de complemento a los módulos didácticos del Anexo B. Se ruega no citar ni hacer referencia a este material en otras publicaciones. Estos documentos expresan solamente las opiniones de sus autores. El contenido no refleja necesariamente la visión o política oficial del California Integrated Waste Management Board (CIWMB) o la del Estado de California

CIVIL 131 Introducción al Diseño de Ingeniería Civil

1.0 Introducción

Según los datos de la asociación de fabricantes de caucho (Rubber Manufacturers Association), en 2005 se generaron aproximadamente 300 millones de neumáticos de desecho en los Estados Unidos. Históricamente, estos neumáticos usados ocupaban espacio en vertederos u ofrecían el caldo de cultivo ideal para mosquitos y roedores cuando se los abandona o amontona ilegalmente. Afortunadamente ahora existe mercado para el 87% de estos neumáticos de desecho, en comparación con el 17% en el año 1990. Estos mercados - tanto de reciclado como de uso beneficioso – siguen creciendo, y la California Integrated Waste Management Board (CIWMB) cree que el marcado más grande de todos para los productos de neumáticos de desecho son las aplicaciones en ingeniería civil. Sin embargo, el resto de los neumáticos desechados siguen siendo apilados en montones o en vertederos

A nivel nacional, de los 300 millones de neumáticos de desecho producidos, la mayoría se utilizó como sigue:

- 155 millones (52%) se usaron como combustible (TDF).
- 49 millones (16%) fueron reciclados o utilizados en proyectos de ingeniería civil
- 30 millones (10%) se convirtieron en caucho triturado y se reciclaron en productos.
- 7,4 millones (2,5%) se convirtieron en caucho triturado y se usaron en asfalto engomado.
- 6,9 millones (2,3%) se exportaron.
- 6,1 millones (2.0%) se reciclaron en productos cortados/estampados/sellados.
- 3 millones (1%) se destinaron a la agricultura y otros usos misceláneos.

Como puede verse, los mercados más grandes para neumáticos de desecho, que ocupan alrededor del 78%, son:

- Combustible derivado de neumáticos
- Aplicaciones de ingeniería civil
- Aplicaciones de caucho triturado/hormigón asfáltico engomado

Tanto el uso de reciclaje como el uso beneficioso de los restos de neumáticos se han expandido mucho en la última década debido al creciente énfasis en el reciclado y uso beneficioso por parte de autoridades estatales, locales y federales, la industria, y otras asociaciones. Desgraciadamente, incluso con los importantes niveles de utilización y esfuerzos de reciclaje en marcha, no todos los restos de neumáticos se usan de forma beneficiosa

California es el estado que más contribuye en ese sentido, produciendo unos 40 millones de esos neumáticos. Se estima que de media cada residente de California produce 1,1 neumáticos al año. El consejo estatal de gestión de residuos California Integrated Waste Management Board (CIWMB) tiene la tarea de desviar esos neumáticos de desecho desde el flujo de residuos para su uso en otras aplicaciones beneficiosas. Las aplicaciones de ingeniería civil son el mercado potencial de mayor crecimiento para los neumáticos de desecho.

1.1 Objetivos

Este capítulo se centra en los materiales que se desarrollaron para presentar a los estudiantes de ingeniería de primer año las posibles aplicaciones de los neumáticos de desecho en proyectos de ingeniería civil. Fue elaborado para un curso que se ofrece en la mayoría de los institutos técnicos y universidades con programas de ingeniería; normalmente el curso recibe el nombre de "Introducción a la ingeniería".

1.2 Historia

El consejo CIWMB ha pasado casi dos décadas tratando con problemas de neumáticos de desecho en el Estado de California. No solo se les ha pedido desviar los neumáticos usados del flujo de residuos, también han participado en la reducción del número de neumáticos de desecho que se amontonan, tanto de forma legal como ilegal, y en los esfuerzos de rehabilitación después de incendios de neumáticos de devastadoras consecuencias. El programa de gestión de reciclaje de neumáticos de desecho de CIWMB ha aumentado su tasa de desvío de neumáticos de desecho desde el 34 por ciento en 1990 hasta el 75 por ciento en 2008 (CIWMB 2008). Además, el programa ha limpiado la mayoría de los grandes montones de neumáticos en el estado.

Los neumáticos de desecho abandonados suponen posibles amenazas a la salud y seguridad pública, y para el medio ambiente. Este es particularmente cierto con respecto al riesgo de incendios y a las enfermedades transmitidas por mosquitos, como el Virus del Nilo Occidental. El CIWMB también ha completado programas de remediación en los incendios de neumáticos más grandes de California, y ha trabajado expandiendo mercados para los productos derivados de neumáticos.

1.3 Aplicaciones en Ingeniería Civil de los Neumáticos de Desecho

Este módulo ofrece una introducción general a los problemas relativos a la generación de neumáticos de desecho en California y da un panorama de sus aplicaciones en proyectos de ingeniería civil. También se abordan los beneficios y problemas enfrentados en el uso de neumáticos de desecho como agregado derivado de neumáticos (Tire Derived Aggregate o TDA) y materiales para pavimentación de asfalto engomado.

Los neumáticos son un producto artificial con una composición compleja. Contienen bandas y cuentas de acero, bandas de poliéster y caucho sintético y natural. Son diseñados para ser resistentes y durables por lo que no son fáciles de reciclar. Los proyectos de ingeniería civil pueden usar neumáticos de desecho en una variedad de formas, desde partículas de caucho triturado e hilos de neumático hasta neumáticos enteros.

El uso de los productos de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil puede clasificarse en tres categorías principales; agregado derivado de neumático, materiales de pavimentación de hormigón asfáltico engomado (RAC) y el uso de neumáticos de desecho enteros. Los TDA tienen muchas propiedades beneficiosas para algunas aplicaciones de ingeniería civil:

1. De peso ligero, los hilos de neumático pesan 1/3 a ½ menos que la tierra y gravilla compactada.
2. La presión lateral del terreno es menor, alrededor de ½ o menos del material de relleno tradicional.
3. Buenas características de aislamiento térmico, 8 veces mayor que la gravilla.
4. Alta permeabilidad, mayor que la de los suelos granulados (arenas).
5. Comprimibilidad, útil para mitigar la vibración.

El RAC también posee muchas propiedades deseables, entre ellas:

1. Mejora de tracción, comparado con la pavimentación con asfalto tradicional.
2. Mejora la durabilidad de secciones de pavimento, especialmente en revestimientos. Normalmente permite usar revestimientos más finos y obtener un desempeño superior. Reduce el agrietamiento por reflexión y tensión superficial.
3. Reduce el ruido causado por el tráfico de vehículos (contaminación sonora). Escuchen el video incluido en la presentación Power Point.
4. Reduce la vibración que se siente en los vehículos.
5. Reduce los costes de mantenimiento gracias a la vida de servicio más larga propia del RAC.
6. Reduce el rociado/la salpicadura de la lluvia. El video en la presentación Power Point muestra dramáticamente este efecto.

Los materiales de pavimentación RAC pueden mejorar el desempeño del sistema de pavimentación al tiempo que reduce los requisitos de material debido al menor espesor del revestimiento del pavimento. Los sistemas de pavimentación RAC han demostrado tener menores costes de ciclo vital.

Hay varias aplicaciones beneficiosas de los TDA en proyectos de ingeniería civil. Los TDA pueden usarse en varios tipos de aplicaciones de ingeniería civil:

1. Relleno ligero para cementaciones
2. Relleno para muro de contención
3. Capa antivibración bajo las líneas férreas
4. Capa aislante para limitar la penetración de escarcha en carreteras

5. Aplicaciones de vertedero, tales como cubierta diaria, protección de tubería de gas, capas de drenaje y sistemas de recolección y recuperación de lixiviado y gas.
6. Resolver problemas de estabilidad de pendientes mediante el reemplazo de suelos más pesados, lo que reduce la fuerza impulsora de los fallos de estabilidad de las pendientes.

Usar productos de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil, lo que aprovecha las características deseables de estos productos al tiempo que ayuda a resolver los problemas medioambientales producidos por eliminación incorrecta. Las aplicaciones de ingeniería civil tienen el potencial de usar grandes cantidades de productos de neumáticos de desecho. Por ejemplo, se reciclan unos 75 neumáticos por cada yarda cúbica de relleno con TDA, y se usan 2000 neumáticos por milla de pista de pavimento RAC. El CIWMB cree que las aplicaciones de ingeniería civil representan el mayor potencial de crecimiento para el uso de neumáticos de desecho en California.

Existen diversos obstáculos para la generalización del uso de neumáticos de desecho en las aplicaciones de ingeniería civil. Estos obstáculos tienen aspectos de ingeniería así como medioambientales, reglamentarios, de percepción ciudadana y problemas de construcción. Los ingenieros civiles suelen evitar el riesgo y están acostumbrados a diseñar con materiales de construcción convencionales (suelos, hormigón, asfalto, madera y acero) que tienen estándares y códigos aplicables de aceptación. Las propiedades de ingeniería de los TDA no han sido bien establecidas y faltan datos de desempeño a largo plazo y estándares o manuales de diseño. Además, la composición química de los productos de neumáticos de desecho es compleja ya que los neumáticos han sido diseñados para ser resistentes, durables y seguros para el consumidor. Se desconocen los efectos medioambientales a largo plazo y los ingenieros deben vencer la percepción pública de que si son materiales de desecho son necesariamente malos.

Durante el diseño, el ingeniero se ve enfrentado a un convulso proceso regulatorio de aprobación, con objetivos que compiten entre sí (por ejemplo, la EPA y los grupos de control regulatorios de la calidad del agua) Los organismos de regulación medioambiental son adversos al riesgo y necesitan seguridad sobre los impactos del uso de productos reciclados en aplicaciones de ingeniería civil.

También hay varios problemas de construcción a superar. Es posible que se requieran nuevos procedimientos y equipos como ocurre en el caso de los sistemas de pavimentación RAC, lo que requiere procedimientos más controlados de fabricación, transporte y construcción. En el caso de los TDA, suele ser difícil calcular los costes “sobre el terreno” debido a las variaciones de la densidad sobre el terreno lograda y el esfuerzo de compactación necesario. Otro problema es que el suministro no es seguro, tanto en cantidad como calidad, y los TDA resultante varia según el fabricante. Algunas veces el uso de neumáticos de desecho puede ser más caro que la construcción con materiales convencionales. Finalmente, al igual que los ingenieros, los contratistas suelen evitar el riesgo.

Sin embargo, muchos de los obstáculos pueden superarse usando las siguientes estrategias:

- Realizando estudios de laboratorio para determinar las propiedades de ingeniería, y los impactos medioambientales.
- Llevar a cabo proyectos piloto de construcción (a escala completa o casi completa) usando productos de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil.
- Supervisión de la ingeniería y desempeño ambiental a largo plazo de dichos proyectos.
- Modificar las especificaciones, y desarrollar estándares regionales y/o nacionales, etc. según se requiera para generalizar el uso de productos reciclados en aplicaciones de ingeniería civil.
- Educar a los profesionales abordando los problemas directamente y destacando los beneficios de utilizar estos materiales.

2.0 Estudios de Caso

2.1 Quemas de neumático

Recientemente han ocurrido dos incendios de neumático grandes en California, uno en Tracey y otro en Westley:

- Tracy: el 7 de agosto de 1998 un gran incendio quemó aproximadamente 7 millones de neumáticos en la instalación no autorizada de desecho de neumáticos Royster S.F. situada en Tracy, California. El incendio se pudo extinguir con agua y espuma en diciembre del 2000, después de arder durante 26 meses. Recientemente se limpió el sitio a un coste de 40 millones durante los últimos 10 años.

- Westley: el 22 de septiembre de 1999 un rayo prendió fuego a neumáticos amontonados que ardieron hasta que se extinguió el fuego el 26 de octubre de 1999. Se quemaron aproximadamente 2 a 3 millones de neumáticos y 20 millones costó su limpieza.

Los incendios de neumáticos producen nubes de humo negro dañino, carbón negro, orgánicos volátiles, semi-volátiles, hidrocarburos aromáticos polinucleares, petróleo, oxido sulfúrico, nitrógeno y partículas aéreas como arsénico, cadmio, cromo, plomo, zinc y hierro que causan problemas medioambientales serios al aire, agua y suelo. Rociar con agua las quemas de neumático suele aumentar la producción de aceite pirolítico, ofrece un método de expandir los aceites fuera del lugar del incendio y agrava la contaminación de suelos y cuerpos de agua.

La forma de un neumático permite la entrada y acumulación fácil de agua de lluvia. Esto crea un hábitat de cultivo ideal para mosquitos y otras pestes. Los neumáticos son voluminosos y no biodegradables, además tampoco parecen respetar el medio ambiente cuando se almacenan en montones al exterior.

2.2 Vía de Acceso a la Rampa sur 880 de Dixon

CIWMB trabajo con Caltrans para usar neumáticos despedazados (TDA) como relleno ligero en el proyecto del intercambiador Dixon Landing/I-880 en el condado de Santa Clara. El relleno ligero se identificó como la opción más barata para esta rampa porque se iba a construir en una plataforma con fango, que era demasiado débil para soportar el peso de los materiales tradicionales de relleno. Asimismo, la estabilidad y asentamiento de la pendiente es una preocupación importante cuando se construyen cementaciones en suelos débiles. Se escogió a los TDA porque pesan entre un tercio a la mitad del material de relleno tradicional, y tenía un coste con entrega mucho menor que los otros materiales de relleno ligero. Las intersecciones del relleno, tanto perpendicular como paralelos a la dirección del tráfico vehicular se muestran abajo:

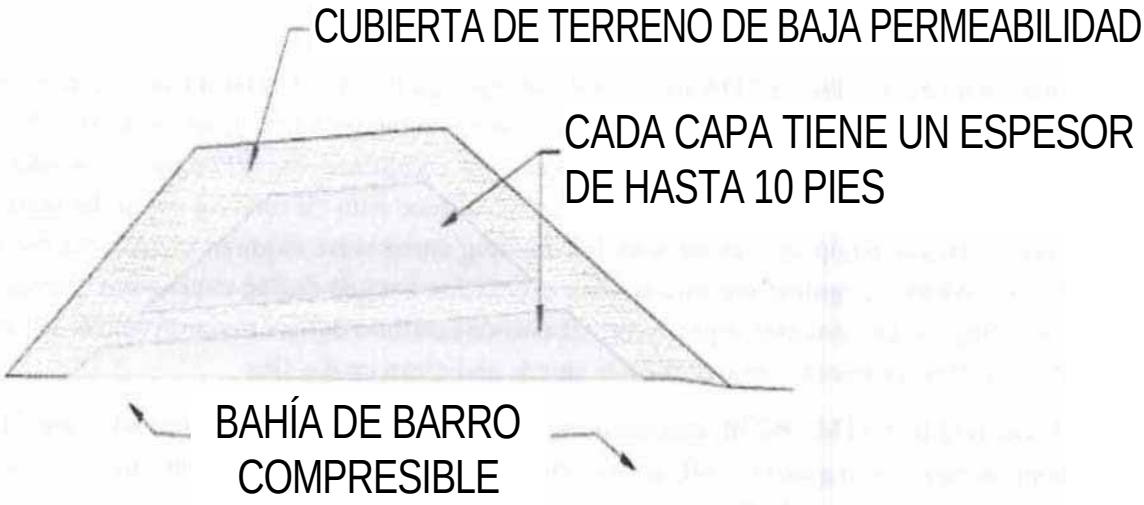


Figura 1. Vista Transversal del Proyecto de Relleno de Cementaciones de Dixon Landing con dos Capas de TDA

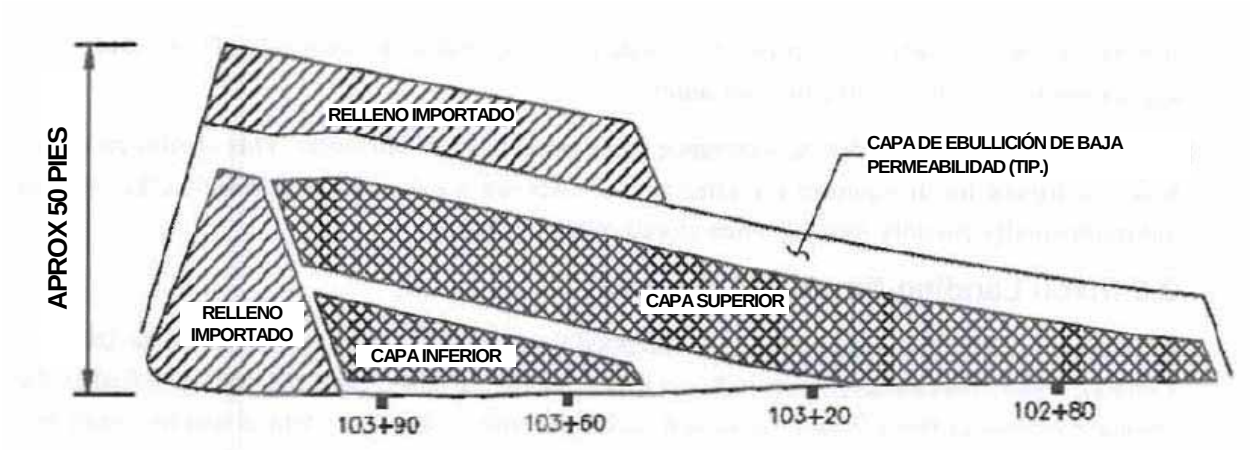


Figura 2. Perfil del Proyecto de Cementación con TDA de Dixon Landing

Los hilos de neumático se colocaron en dos capas, de hasta 10 pies de espesor, y se envolvieron en un material geotextil separado por una capa de suelo de baja permeabilidad de tres pies de espesor. La altura máxima de 10 pies del relleno de TDA sirvió para minimizar el calentamiento interno que había causado la combustión espontánea en anteriores proyectos con una mayor profundidad de rellenos construidos en la década de los 90.

Otro de esos incendios implicó un relleno de neumático TDA en Falls Springs Road en el Condado Garfield (estado de Washington) en octubre de 1996. Los ingenieros decidieron rellenar un barranco abruto con hilos de neumático en vez de construir un puente muy costoso. Unos meses después de finalizado el proyecto, el relleno empezó a arder, produciendo llamaradas que salían a través de las grietas de la superficie de la carretera y aceite que se filtraba hacia el fondo del barranco. Se requirió maquinaria pesada y equipos de bomberos para excavar el relleno a profundidad total. Cuando los hilos de neumáticos ardientes se expusieron al oxigeno debido a la excavación, saltaron llamaradas que engulleron al equipo de construcción. Costó un millón de dólares construir el relleno y alrededor de tres retirar los hilos de neumático y limpiar el terreno.

De acuerdo a la norma ASTM D6270, el calentamiento de la cementación puede prevenirse usando TDA que no esté contaminado con gasolina, aceite, grasa, etc., limitando los TDA de tamaño fino, limitando el espesor de la capa de TDA a un máximo de 3 metros (10 pies) y minimizando el contacto del relleno con el aire y agua.

En los proyectos de construcción con TDA es importante destacar que, aparte de las unidades de transporte utilizado para entregar los TDA que se muestran en la Figura 3, no se requiere equipo especial de construcción para extender y compactar los rellenos de TDA. Los TDA tienen una densidad mucho menor que los materiales de relleno tradicionales. Esto significa que los camiones de transporte estarán limitados por el volumen, no por el peso. Esto reduce el número total de camiones necesarios para completar un proyecto de relleno, lo que puede ser un tema importante en zonas donde la congestión del tráfico o el acceso limitado al sitio es un tema a considerar.

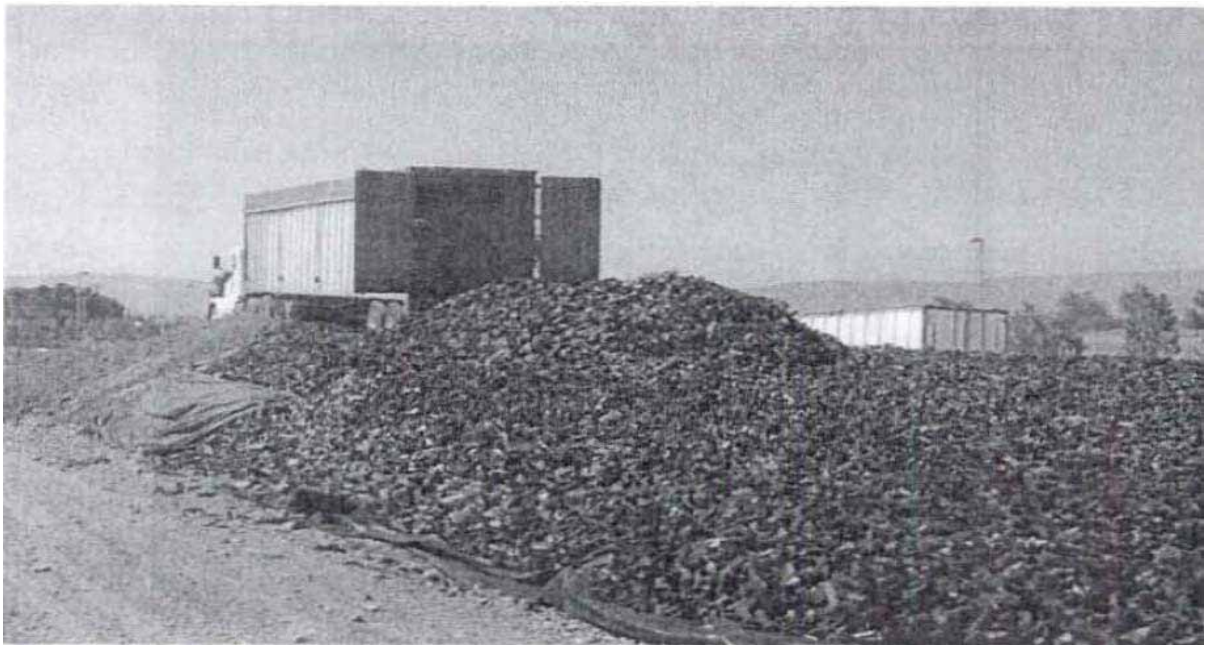


Figura 3 Descarga de TDA Desde un Camión de Larga Distancia

El material puede extenderse con excavadoras y compactarse con apisonadoras estándar (de 10 toneladas) según se muestra en las Figuras 4 y 5. La norma ASTM D6270 especifica que los TDA se coloquen en un levantamiento de un pie a compactarse pasando sobre cada punto del relleno un mínimo de seis veces por levantamiento. Es necesario destacar que los métodos tradicionales para determinar la densidad sobre el terreno, como el cono de arena o las sondas nucleares, no funcionan con los TDA. La medición aproximada de la densidad sobre el terreno puede obtenerse estudiando el volumen del relleno y conociendo el peso total de los TDA aplicados.

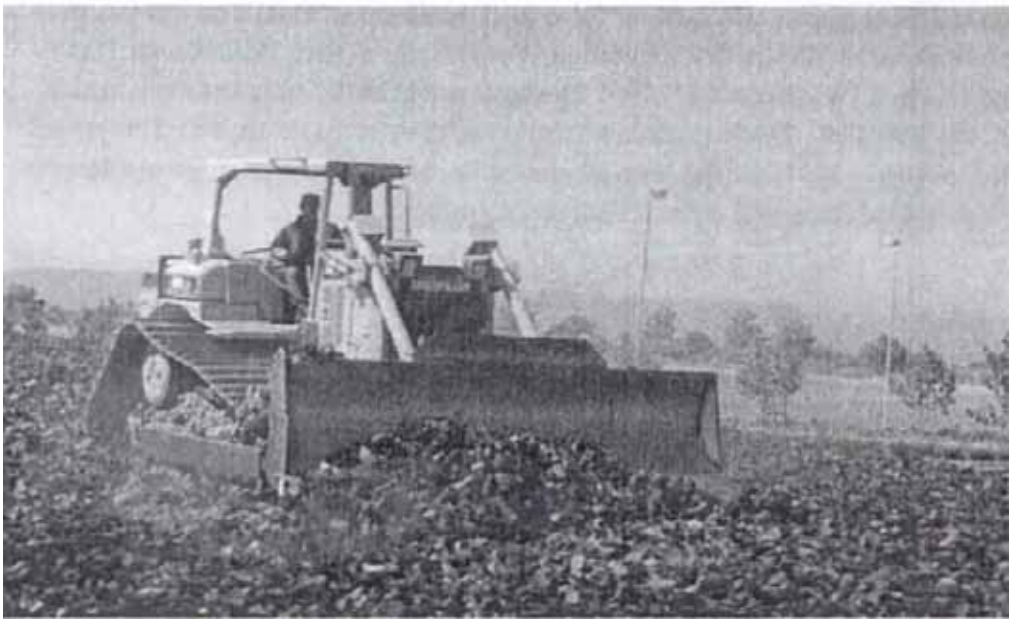


Figura 4. Uso de excavadora para Expandir los TDA

Figura 5. Se usó una Apisonadora de Acero para Compactar los TDA

Los costes unitarios para el proyecto de vía de acceso en Dixon fueron los siguientes:

Costes de instalación de TDA (incluyendo geotextil)	= $3.74/yd3
Gastos de adquisición y transporte de TDA	= $23.66/yd3
Coste sobre el terreno de TDA	= $27/yd3
Coste sobre el terreno de agregado ligero	= $50/yd3

Debe señalarse que el agregado de peso ligero se uso para el relleno contra el contrafuerte ya que no hay datos disponibles sobre la respuesta sísmica de los TDA para esa aplicación. El ahorro en costes para Caltrans por usar los TDA proporcionado de forma gratuita por CIWMB fue de $477.000. El ahorro en costes para el Estado menos el precio de compra de los TDA fue de $230.00 dólares. Esta es la cantidad que ahorraron los contribuyentes por el uso de los TDA. Este proyecto se terminó en agosto de 2001, se ha monitoreado desde el principio, y hasta la fecha no se han presentado problemas de desempeño. La Figura 6 muestra el proyecto de cementación completo usando TDA.

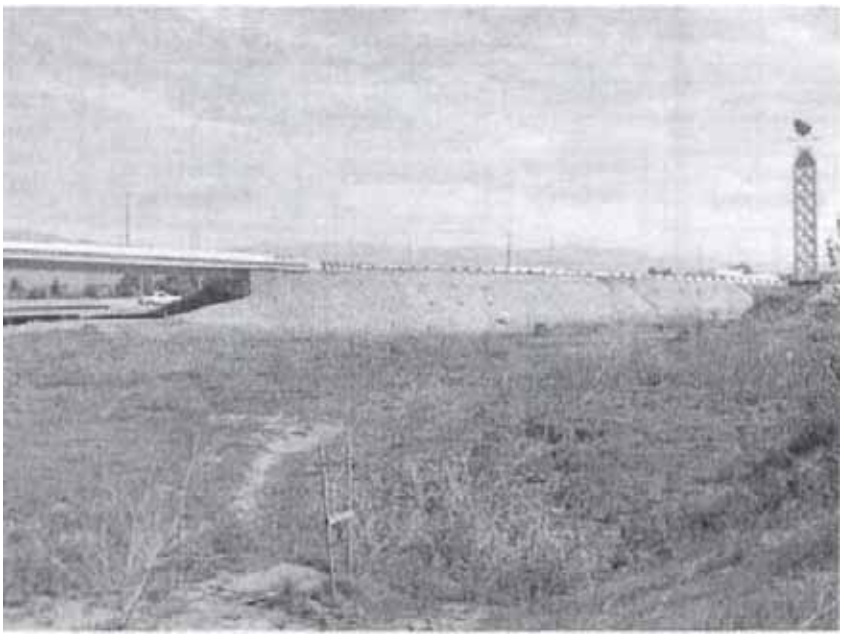


Figura 6. Proyecto Terminado de Relleno para Cementación con TDA Ligeros en la vía de Acceso de Dixon

3.0 Guía Curricular de la Formación Sobre Neumáticos de Desecho en Ingeniería Civil

Este módulo también incluye una introducción al uso de neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil. El siguiente gráfico muestra un diagrama de cómo se difunde la información sobre el uso de neumáticos de desecho a través del programa universitario en la CSU, Chico. Hay materiales didácticos del curso disponibles para cada uno de los temas mencionados.

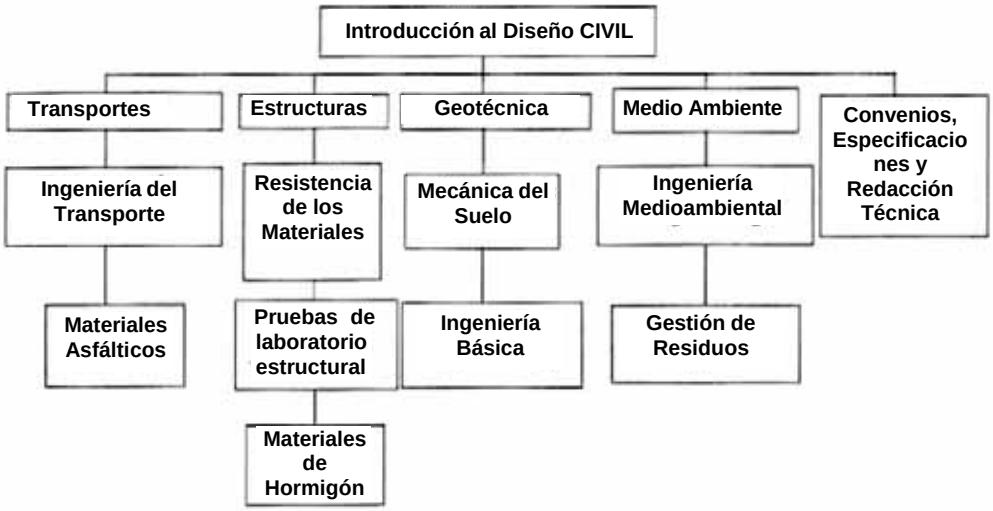


Figura 7. Guía para la Enseñanza de Aplicaciones de Neumáticos de Desecho en Ingeniería Civil

4.0 Resumen y Recomendaciones

Aunque siguen existiendo obstáculos, las aplicaciones de ingeniería civil son el uso de mayor crecimiento para los neumáticos de desecho en los Estados Unidos. Los TDA tienen muchas propiedades deseables que lo convierten en un material ideal para uso en una gama de aplicaciones de ingeniería civil, al tiempo que se ayuda a desviar los neumáticos de desecho del flujo de residuos. Aunque existen algunas especificaciones y guías disponibles, se requiere más investigación y proyectos pilotos para aumentar la confianza en el uso de este material reciclado. Se requieren estudios a largo plazo para monitorear el desempeño a largo plazo, y determinar los impactos para el medioambiente.

Se requiere más trabajo en términos de hacer llegar este material a manos de los educadores e incorporar los resultados que vayan surgiendo de investigaciones y proyectos pilotos finalizados recientemente.

5.0 Referencias

1. CIWMB, “California Waste Tire Generation, Markets, and Disposal” [Generación, Mercados y Eliminación de Neumáticos de Desecho en California]: Informe del personal, 2006.

2. Dana Humphrey “Civil Engineering Applications using Tire Derived Aggregates”(TDA) [Aplicaciones de Ingeniería Civil con Agregados de Neumáticos] 2003

3. Five-Year Plan for the Waste Tire Recycling Management Program (3rd Edition Covering Fiscal Years 2005/06-2009/10), Report to the Legislature, [Plan

Quinquenal para el Programa de Gestión de Reciclaje de Neumáticos de Desecho, Informe para la Legislatura] California Integrated Waste Management Board

4. Scrap Tire Markets in the United States [Mercados de Neumático de Desechos en los Estados Unidos]- Rubber Manufacturers Association, November 2006

5. Special Report: Scrap and Shredded Tire Fires [Informe Especial Sobre Incendios de Neumáticos de Chatarra y Triturados], USFA-TR-093/December 1998