

**UNIVERSIDAD DEL BÍO- BÍO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**PROFESOR PATROCINANTE:  
DR. JOSÉ NORAMBUENA CONTRERAS**

**PROFESOR CO-GUÍA:  
MG. IRENE GONZÁLEZ-TORRE**

**EVALUACIÓN DEL DAÑO DE GEOSINTÉTICOS  
USADOS COMO SISTEMA ANTI-REMORTE DE  
FISURAS EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**

**PROYECTO DE TÍTULO PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS REQUISITOS  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**CAROLINA ANDREA LÓPEZ RIVEROS**

**Concepción, Agosto de 2015**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres, abuelos y hermanos...*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente al profesor José Norambuena y a Irene González-Torre, por su constante apoyo durante este vertiginoso proceso final. Destaco las herramientas y el conocimiento entregado que me ayudaron a construir esta investigación, pero por sobre todo su calidad humana. Además de buenos profesores, descubrí unas excelentes personas.

Por otra parte, agradecer la buena disposición y ayuda proporcionada por Daniel Fernández de la empresa HUESKER Ltda., al suministrar geosintéticos para esta investigación y a Verónica López de la empresa HARSCO Metals por el suministro de la escoria siderúrgica.

También agradecer el apoyo en equipamiento suministrado por el Centro de Biomateriales y Nanotecnología (CBN) y el Centro de Investigación de Polímeros Avanzados (CIPA, CONICYT Regional, GORE BIO BIO R08C1002), ambos afiliados a la Universidad del Bío-Bío, Chile. Además, agradecer la ayuda proporcionada por Don Miguel del Laboratorio de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad del Bío-Bío. Gracias por su amistad y buena disposición en todo momento.

Finalmente, agradezco a mi familia por el inmenso amor y constante apoyo que me han demostrado durante todo este transcurso. En especial a mis padres, por todo el trabajo y esfuerzo que incansablemente han realizado para permitir que llegue a esta instancia, y por las numerosas enseñanzas y valores que han guiado mi vida y que hoy día forjan la persona que soy.

Y por sobre todo agradecer a Dios, que puso a cada una de estas personas en mi camino e hizo posible que hoy pueda culminar satisfactoriamente una de las etapas más importantes de mi vida.

## **EVALUACIÓN DEL DAÑO DE GEOSINTÉTICOS USADOS COMO SISTEMA ANTI-REMORTE DE FISURAS EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**

Carolina López Riveros  
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío  
[clopezz@alumnos.ubiobio.cl](mailto:clopezz@alumnos.ubiobio.cl)

Dr. José Norambuena Contreras  
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío  
Centro de Investigación de Polímeros Avanzados (CIPA)  
[jnorambuena@ubiobio.cl](mailto:jnorambuena@ubiobio.cl)

### **RESUMEN**

Los geosintéticos son materiales compuestos que se utilizan habitualmente como sistemas antiremonte de fisuras en pavimentos asfálticos. Sin embargo, los materiales que componen los geosintéticos pueden verse dañados debido a las sollicitaciones mecánicas y térmicas que tienen lugar durante su proceso de instalación bajo una mezcla asfáltica en caliente. Aunque se han realizado diferentes estudios para evaluar el daño producido por instalación sobre los geosintéticos, aún no se conocen con claridad cuáles son las variables determinantes que regulan el deterioro de estos materiales y la pérdida de sus propiedades. Por lo tanto, el principal objetivo de este trabajo fue evaluar el daño de geosintéticos usados como sistema anti-remonte de fisuras en pavimentos asfálticos. Con este objetivo, se ha desarrollado un procedimiento para simular en condiciones de laboratorio el deterioro producido por el proceso de extensión y compactación de una mezcla asfáltica en caliente sobre los geosintéticos, mediante la compactación dinámica de áridos a temperaturas elevadas. Así, este proceso ha permitido simular experimentalmente las sollicitaciones térmicas y mecánicas que sufren los geosintéticos usados como sistema anti-remonte. Finalmente, se ha evaluado la reducción de las propiedades físicas y mecánicas de los geosintéticos a través de ensayos de contraste, cuantificando el daño sufrido por los materiales tras el proceso de deterioro. Los principales resultados de esta investigación han establecido que el procedimiento de deterioro por compactación dinámica de áridos no produjo una reducción significativa sobre las propiedades mecánicas de los cordones de fibras evaluados, siendo este resultado dependiente del tipo de material que compone cada geosintético.

**Palabras claves:** Geosintético; Pavimento asfáltico; Daño por instalación; Pérdida de las propiedades.

## EVALUATION OF DAMAGE IN GEOSYNTHETICS USED AS ANTI-REFLECTIVE CRACKING SYSTEMS IN ASPHALT PAVEMENTS

Carolina López Riveros

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío-Bío  
[clopezr@alumnos.ubiobio.cl](mailto:clopezr@alumnos.ubiobio.cl)

José Norambuena Contreras, Ph.D

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío-Bío  
Centro de Investigación de Polímeros Avanzados (CIPA)  
[jnorambuena@ubiobio.cl](mailto:jnorambuena@ubiobio.cl)

### ABSTRACT

Geosynthetics are composite materials commonly used as anti-reflective cracking systems in asphalt pavements. However, materials that compose geosynthetics can be damaged due to mechanical and thermal effects produced during installation process under hot mix asphalts. Although different studies have been carried out with the aim of evaluating the damage due to installation on geosynthetics, it is not clear which variables have more influence on the deterioration of these materials and on the reduction of their properties. Therefore, the main objective of this work was to evaluate the damage produced on geosynthetics used as anti-reflective cracking systems in asphalt pavements. With this objective, a new procedure to simulate in laboratory conditions the damage produced by the spread and compaction of a hot mix asphalt on geosynthetics has been developed, by using dynamic compaction of aggregates at high temperatures. Thus, this procedure experimentally simulates the thermal and mechanical loads that geosynthetics undergo when they are used as anti-reflective system. Finally, the reduction of physical and mechanical properties has been evaluated by using contrast tests, quantifying the damage produced on the geosynthetics after the deterioration procedure. Main results of this research established that damage procedure by dynamic compaction of aggregates did not significantly reduce on mechanical properties of the fibers strings evaluated, although these results were different depending on the material that compose each geosynthetic.

**Keywords:** Geosynthetics, Asphalt pavement, Damage During Installation, Properties reduction.

4373 palabras + 9 Figuras/Tablas\*250 + 2 Figura/Tabla\* 250 = 7123 Palabras Totales.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1	ANTECEDENTES.....	1
1.2	HIPÓTESIS.....	2
1.3	OBJETIVOS.....	3
1.3.1	<i>Objetivo general</i> .....	3
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.4	DECLARACIÓN DE AUTOR.....	3
<b>2</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>4</b>
2.1	MATERIALES.....	4
2.2	PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE GEOSINTÉTICOS.....	4
2.3	ESTUDIO DE LA MORFOLOGÍA DE LOS CORDONES DE FIBRAS.....	5
2.4	COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL ÁRIDO DE ESCORIA Y LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	5
2.5	COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LOS GEOSINTÉTICOS.....	5
2.6	PROCEDIMIENTO DE DETERIORO POR COMPACTACIÓN PROCTOR.....	5
2.7	PROCEDIMIENTO DE DETERIORO POR COMPACTACIÓN MARSHALL.....	7
2.8	ENSAYO DE TRACCIÓN SOBRE LOS CORDONES DE FIBRAS.....	8
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>9</b>
3.1	MORFOLOGÍA Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LOS CORDONES DE FIBRAS.....	9
3.2	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE LOS CORDONES DE FIBRAS.....	10
3.3	INFLUENCIA DEL PROCESO DE DETERIORO EN LA FUERZA MÁXIMA DE LOS CORDONES DE FIBRAS 12	
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>17</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades Físicas de los Geosintéticos Tipo Geomalla. ....	4
Tabla 2. Valores de $F_{max}$ obtenidos del Ensayo de Tracción sobre Cordones de Fibras. ....	12

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. (a) Esquema de las muestras de geosintéticos, y (b) esquema de la morfología y sección transversal de los cordones de fibras. ....	4
Figura 2. Esquemas del procedimiento de deterioro por compactación Proctor: (a) Etapa I, y (b) Etapa II. ....	6
Figura 3. Tracción sobre un cordón de fibras de G3: (a) antes, y (b) después del ensayo. ....	8
Figura 4. Fotografía de un cordón de fibras de G1 antes y después del deterioro por compactación Proctor: (a) cordón de fibras de PES, y (b) cordón de fibras dañado por punzonamiento de áridos de escoria. ....	9
Figura 5. (a) Resultado obtenido del ensayo TGA realizado para los geosintéticos, y (b) curvas calentamiento-enfriamiento del árido de escoria y la mezcla asfáltica. ....	10
Figura 6. Valores de $F_{max}$ obtenidos del ensayo de tracción, tras los distintos estados: (a) golpes, y (b) calentamiento. ....	11
Figura 7. Gráfico probabilidad-probabilidad Normal para los valores de $F_{max}$ : (a) golpes, y (b) calentamiento. ....	11
Figura 8. (a) Ejemplo de curva fuerza-deformación del geosintético G1, y (b) valores de RDs para los geosintéticos tras los distintos procesos de deterioro. ....	13
Figura 9. Gráfico probabilidad-probabilidad Weibull para los valores de RD. ....	14

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El remonte de fisuras es uno de los problemas que más afecta al deterioro de los pavimentos de carretera (Cleveland et al., 2002). Este problema consiste en la propagación de grietas desde una capa fisurada hasta la superficie de una capa de rehabilitación (Nunn, 1989). De este modo, con el objetivo de retrasar la propagación de grietas en pavimentos asfálticos, se han usado diferentes geosintéticos como sistema anti-remonte de fisuras. Los geosintéticos son materiales compuestos que se colocan sobre los pavimentos agrietados previamente a la extensión y compactación de la capa asfáltica de rehabilitación (Button y Lytton, 2003). De este modo, los materiales que componen los geosintéticos pueden verse dañados debido a las sollicitaciones durante su proceso de instalación bajo una mezcla asfáltica en caliente. El deterioro de estos materiales se puede producir por dos motivos: primero, el efecto mecánico producido por la extensión y compactación de la mezcla asfáltica y segundo, el efecto térmico debido a las altas temperaturas a las que se coloca la mezcla asfáltica (aproximadamente 150°C). Aunque se han realizado algunos estudios para evaluar el daño producido por instalación sobre los geosintéticos, aún no se conocen con claridad cuáles son las variables determinantes que regulan el deterioro de estos materiales y la pérdida de sus propiedades mecánicas.

En lo referente al daño por instalación sobre los geosintéticos, Norambuena-Contreras et. al (2009) analizaron el efecto de las altas temperaturas en el comportamiento de los geosintéticos. En este trabajo, se demostró que los materiales como el polipropileno, muy común en los geosintéticos, sufren un importante deterioro a temperaturas superiores a 140°C. De este modo, una mezcla asfáltica en caliente podría dañar significativamente a un geosintético durante su proceso de instalación, reduciendo sus propiedades mecánicas. Por otro lado, Correia y Bueno (2011) estudiaron el efecto mecánico producido en los geosintéticos debido al contacto con una emulsión asfáltica. Los geosintéticos estudiados fueron impregnados con una emulsión asfáltica y posteriormente sometidos a un ensayo de tracción, con el objetivo de evaluar la variación del módulo secante. Estos autores concluyeron que la aplicación de una emulsión producía un incremento en la resistencia y rigidez iniciales de los geosintéticos ensayados, por lo que teóricamente su comportamiento como sistema anti-remonte de fisuras se vería mejorado. Sin embargo, este estudio no tuvo en cuenta el posible deterioro producido por el proceso de instalación, por lo que sus conclusiones pueden ser discutidas.

En esta misma línea, Delbono y Guidice (2014) analizaron el efecto que tenía una emulsión asfáltica sobre los materiales que componen los geosintéticos. Tras el estudio concluyeron que cuando un geosintético se impregnaba de emulsión, sus propiedades se veían modificadas reduciendo su temperatura de fusión, dependiendo del tipo de emulsión empleada. De este modo, la temperatura de aplicación de la mezcla asfáltica resulta un factor importante a considerar para la correcta instalación de los geosintéticos. También, Gonzalez-Torre et al. (2014) demostraron experimentalmente que las mezclas asfálticas pueden dañar a los geosintéticos durante su instalación, reduciendo su resistencia mecánica a la tracción y su rigidez inicial.

Recientemente, Norambuena-Contreras y Gonzalez-Torre (2015) estudiaron térmica y morfológicamente el deterioro de diferentes geosintéticos. En su estudio, comprobaron que las fibras de geosintéticos se dañaban tras la instalación, en mayor o menor medida dependiendo del tipo de geosintético, concluyendo que los materiales que componen a los geosintéticos pueden verse dañados efecto de los esfuerzos de aplastamiento y corte producidos por los áridos de la mezcla asfáltica durante los procesos de extensión y compactación. En este contexto, existen algunos trabajos referentes al estudio del deterioro de geosintéticos evaluados bajo la acción dinámica de una capa de áridos (Allen y Bathurst, 1994; Hufenus et al., 2005; Hufenus et al., 2006; Benson et al., 2010; Delgadillo et al., 2012; Pinho-Lopes y Lopes, 2013). Como resultado, estos materiales presentaban una pérdida de la resistencia mecánica, diferente en función de la tipología del geosintético y del material que lo compone. Sin embargo, en estos estudios no se tuvo en consideración el efecto de las altas temperaturas que presentan los áridos en las mezclas.

Por lo anterior, el principal objetivo de este trabajo es evaluar el daño sobre diferentes geosintéticos usados como sistema anti-remonte de fisuras en pavimentos asfálticos. Con este objetivo, se ha desarrollado un procedimiento sencillo en laboratorio que trata de simular el daño térmico y mecánico que produciría una mezcla asfáltica en caliente sobre un geosintético, evaluando posteriormente la variación en sus propiedades físicas y mecánicas.

## **1.2 Hipótesis**

- Los geosintéticos pueden sufrir daños afectando a sus propiedades mecánicas, debido a las elevadas temperaturas de las mezclas asfálticas y las sollicitaciones aplicadas durante su instalación.

- Es posible desarrollar un procedimiento experimental para evaluar el deterioro de los geosintéticos bajo condiciones controladas de laboratorio.

### **1.3 Objetivos**

#### *1.3.1 Objetivo general*

- Evaluar el daño de los geosintéticos usados como sistema anti-remonte de fisuras en pavimentos asfálticos.

#### *1.3.2 Objetivos específicos*

- Revisar la literatura existente con el fin de definir el marco teórico en materia del estudio del daño por instalación de los geosintéticos.
- Caracterizar física y mecánicamente los geosintéticos antes y después de ser sometidos al proceso de deterioro.
- Desarrollar un procedimiento de deterioro de los geosintéticos bajo condiciones controladas de laboratorio.
- Cuantificar el daño sufrido por los geosintéticos tras los diferentes procedimientos de deterioro.
- Realizar un análisis comparativo sobre la variación de las propiedades mecánicas de los geosintéticos bajo diferentes procedimientos de deterioro.

### **1.4 Declaración de autor**

Esta Tesis forma parte del artículo científico:

González-Torre I, Norambuena-Contreras J, López-Riveros C, Fernández-Arnau D. “Evaluación del daño de geosintéticos usados como sistema anti-remonte de fisuras en pavimentos asfálticos” 2015, que será presentado en el XVIII Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, CILA 2015.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Materiales

En este estudio se emplearon tres geosintéticos tipo geomalla, una mezcla asfáltica y un árido de escoria siderúrgica. Los tres geosintéticos estaban constituidos por un geotextil ligero no-tejido de polipropileno y cordones de fibras resistentes con un revestimiento bituminoso, ver Figura 1. Algunas características físicas de los geosintéticos pueden verse en la Tabla 1. Además, se utilizó una mezcla asfáltica semi-densa tipo IV-A-12, considerando ésta como la mayormente usada para la construcción de pavimentos asfálticos en Chile (Delgadillo et al., 2012). La mezcla asfáltica empleada tenía una densidad de  $2.357\text{g/cm}^3$  y un porcentaje de huecos del 5.5%. Finalmente, el árido de escoria (de procedencia 100% chancado) tenía una densidad de  $3.440\text{g/m}^3$  con un contenido de óxido de hierro en masa de 31.80%.

Tabla 1. Propiedades Físicas de los Geosintéticos Tipo Geomalla.

Geosintético	Material fibras (simbología)	Peso unitario ( $\text{g/m}^2$ )	Sección cordón fibras resistente	Dimensiones cordón de fibras (mm)
G1	Poliéster (PES)	270	Circular	0.8 (diámetro)
G2	Polivinil-alcohol (PVA)	225	Circular	0.7 (diámetro)
G3	Fibra de vidrio (FV)	320	Rectangular	0.8×3.8

### 2.2 Preparación de las muestras de geosintéticos

Para el estudio se utilizaron muestras circulares de geosintéticos con un diámetro de 10cm. Estas muestras fueron cortadas garantizando que los cordones de fibras formaran una cuadrícula centrada de  $40\times 40\text{mm}$ , permitiendo la extracción de cordones de fibras con una longitud aproximada de 9.5cm para su posterior ensayo a la tracción (ver Figura 1(a)).

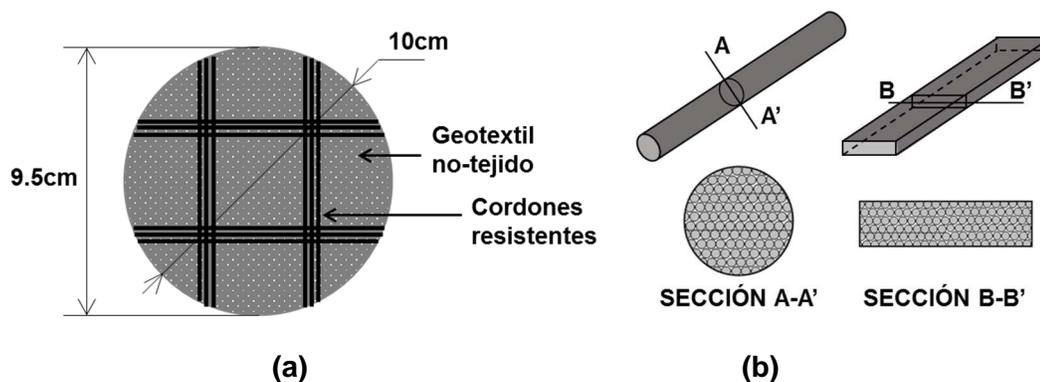


Figura 1. (a) Esquema de las muestras de geosintéticos, y (b) esquema de la morfología y sección transversal de los cordones de fibras.

### **2.3 Estudio de la morfología de los cordones de fibras**

La sección transversal y el aspecto superficial de los cordones de fibras de los geosintéticos fueron estudiados mediante microscopía óptica y electrónica de barrido. Las fibras de geosintéticos fueron examinadas antes y después del procedimiento de deterioro con el objetivo de poder cuantificar visualmente el daño producido en los materiales.

### **2.4 Comportamiento térmico del árido de escoria y la mezcla asfáltica**

Con el objetivo de comprobar la validez de utilizar un árido de escoria para simular la compactación de una mezcla asfáltica en caliente sobre los geosintéticos, se realizó un estudio del comportamiento térmico de ambos materiales, determinando sus curvas de calentamiento enfriamiento. Para ello, ambos materiales fueron calentados en un horno a una temperatura de 180°C, registrando mediante un termómetro infrarrojo el incremento de temperatura en intervalos de 15min hasta alcanzar 165°C. Una vez alcanzado este umbral, los materiales fueron retirados del horno registrando en intervalos de 15min el descenso de temperatura hasta alcanzar una temperatura de equilibrio de 20°C.

### **2.5 Comportamiento térmico de los geosintéticos**

Con el objetivo de conocer el comportamiento térmico de los geosintéticos se llevó a cabo un análisis termo-gravimétrico (TGA) sobre los materiales estudiados. Para ello, se utilizó un equipo de análisis TGA Q50 V20.10 Build 36. Los ensayos se realizaron en atmósfera de nitrógeno, a una velocidad de calentamiento de 20°C/min, obteniendo perfiles TGA en el rango de temperaturas entre 0 y 600°C.

### **2.6 Procedimiento de deterioro por compactación Proctor**

Para estudiar el deterioro de los materiales se desarrolló un procedimiento de laboratorio que constaba de dos etapas: (I) el calentamiento del geosintético bajo una mezcla asfáltica y (II), el efecto mecánico mediante compactación por impacto de áridos de escoria en caliente.

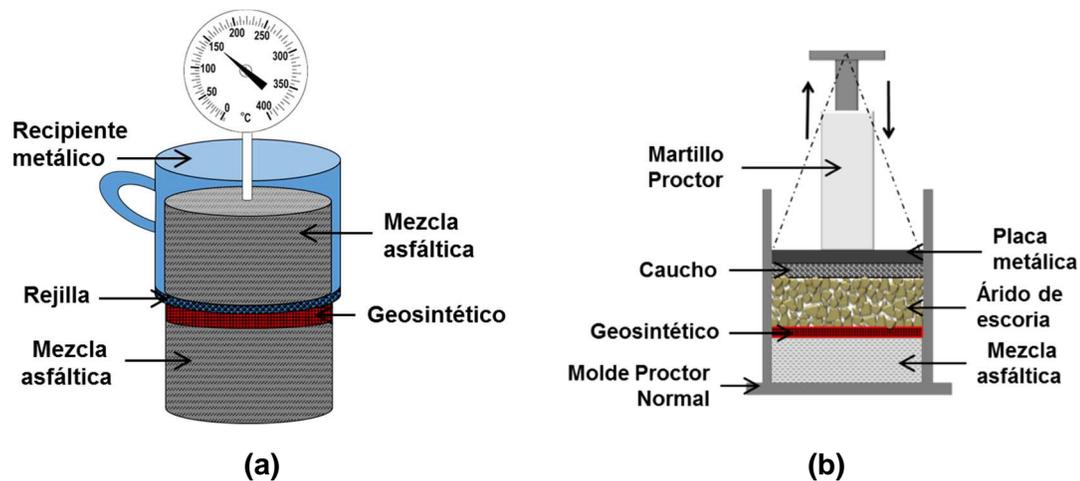


Figura 2. Esquemas del procedimiento de deterioro por compactación Proctor: (a) Etapa I, y (b) Etapa II.

La Etapa I trataba de simular el efecto térmico que sufren los geosintéticos durante su instalación, cuando la capa de mezcla asfáltica en caliente se extiende sobre ellos. Para ello, se calentó la mezcla asfáltica dentro de una estufa a 160°C hasta alcanzar los 150°C. Una vez adquirida esta temperatura, se colocaron las muestras circulares de geosintéticos entre estas dos capas de mezcla asfáltica durante un período de tiempo,  $t$ . La muestra de geosintético estaba en contacto directo con la mezcla asfáltica de la capa inferior. Sin embargo, y con el objetivo de facilitar la extracción del geosintético tras el calentamiento, la capa superior de mezcla asfáltica fue colocada dentro de un recipiente metálico con una rejilla en su base que impedía la adherencia entre ambos materiales, pero permitía la transferencia de calor por conducción (ver Figura 2(a)).

Después del calentamiento, se extrajo la muestra y seguidamente se sometió a la Etapa II. Por su parte, la Etapa II trataba de simular el efecto mecánico experimentado por los geosintéticos cuando se compacta la capa de mezcla asfáltica colocada sobre ellos. En este caso se empleó un árido de escoria siderúrgica en lugar de una mezcla asfáltica en caliente, con el objetivo de facilitar la extracción de fibras para su posterior análisis mecánico y visual. Para realizar la compactación del árido se empleó como dispositivo un molde cilíndrico (diámetro de 10 cm) y un martillo Proctor Normal (masa 2.5 kg y altura de caída 30 cm), ver Figura 2(b). Para simular la instalación real de los geosintéticos se colocó una probeta de mezcla asfáltica tipo Marshall en el fondo del molde actuando como base de apoyo. Sobre ella se disponía el geosintético y seguidamente se introducía el árido a una temperatura de 160°C. La compactación de tipo estática se realizaba mediante series de golpes,  $G$ , sobre una placa de acero circular adherida a una

membrana de caucho (diámetro 9.5cm y espesor 5mm). Esta placa de acero servía para distribuir el esfuerzo del impacto sobre toda la superficie, y el caucho servía como amortiguación e impedía que el árido se dañara efecto de la compactación estática. Por último, una vez realizada la compactación por impacto de los áridos en caliente sobre los geosintéticos, éstos se retiraban del dispositivo cilíndrico.

De acuerdo a los objetivos de esta investigación los geosintéticos evaluados fueron sometidos a dos diferentes estados:

1. Golpes: para estudiar la influencia del número de golpes en el deterioro de los geosintéticos, éstos se calentaron durante 3min y posteriormente fueron sometidos a una compactación por impacto variando el número de golpes, desde 30 hasta 120.
2. Calentamiento: para evaluar la influencia del tiempo de calentamiento de las muestras en el deterioro, los geosintéticos se calentaron durante diferentes períodos de tiempo, que variaron desde 3min a 20min, y posteriormente se sometieron a 80 golpes.

Finalmente, tras el proceso de deterioro se extrajeron 5 cordones de fibras de cada muestra ensayada de los geosintéticos G1 y G2, y 4 cordones de fibras del geosintético G3, que posteriormente se ensayaron a tracción con el objetivo de determinar sus propiedades mecánicas. De acuerdo a esto, un total de 95 cordones resistentes fueron ensayados para los geosintéticos G1 y G2, y 80 para el geosintético G3, debido a su configuración.

## **2.7 Procedimiento de deterioro por compactación Marshall**

Con el objetivo de comparar el daño producido por compactación Proctor frente al daño real sufrido por los geosintéticos cuando se instalan bajo una mezcla asfáltica en caliente, los geosintéticos fueron evaluados usando la compactación por martillo Marshall. Para ello, se compactó una capa de mezcla asfáltica semi-densa de aproximadamente 3cm de espesor aplicando 75 golpes por una cara. Luego, se colocó el geosintético sobre la capa compactada y se vertió sobre éste una segunda capa de mezcla asfáltica en caliente que fue compactada aplicando otros 75 golpes en su cara superior. Finalmente, con el objetivo de extraer los geosintéticos desde el interior de las probetas Marshall, las probetas se calentaron en un horno a una temperatura de 110°C durante 3 horas. De esta manera, las capas pudieron ser separadas y los geosintéticos despegados sin dificultad y sin causar ningún daño adicional. Al igual que en el caso de los

geosintéticos sometidos al proceso de deterioro por compactación Proctor, se extrajeron 5 cordones de fibras de los geosintéticos G1 y G2 y 4 cordones de fibras del geosintético G3, que posteriormente fueron ensayados a tracción.

## 2.8 Ensayo de tracción sobre los cordones de fibras

Los ensayos de tracción sobre los cordones de fibras fueron realizados usando una máquina estática de ensayo universal Zwick/Roell con una célula de carga de 20 kN y controlada por computador. Las dimensiones del área de cada uno de los cordones de fibras fueron medidas empleando un micrómetro digital (ver Figura 1(b) y Tabla 1). Posteriormente cada cordón de fibras se pegó por los extremos en un soporte de papel de dimensiones 80×100mm con aproximadamente 55mm de diámetro y se ensayó hasta rotura, ver Figura 3. Todos los ensayos se realizaron a una velocidad de 10 mm/min. Finalmente, la fuerza máxima ( $F_{\max}$ ) registrada por cada cordón de fibras ha sido utilizada como variable de comparación entre los diferentes estados y procedimientos de compactación.

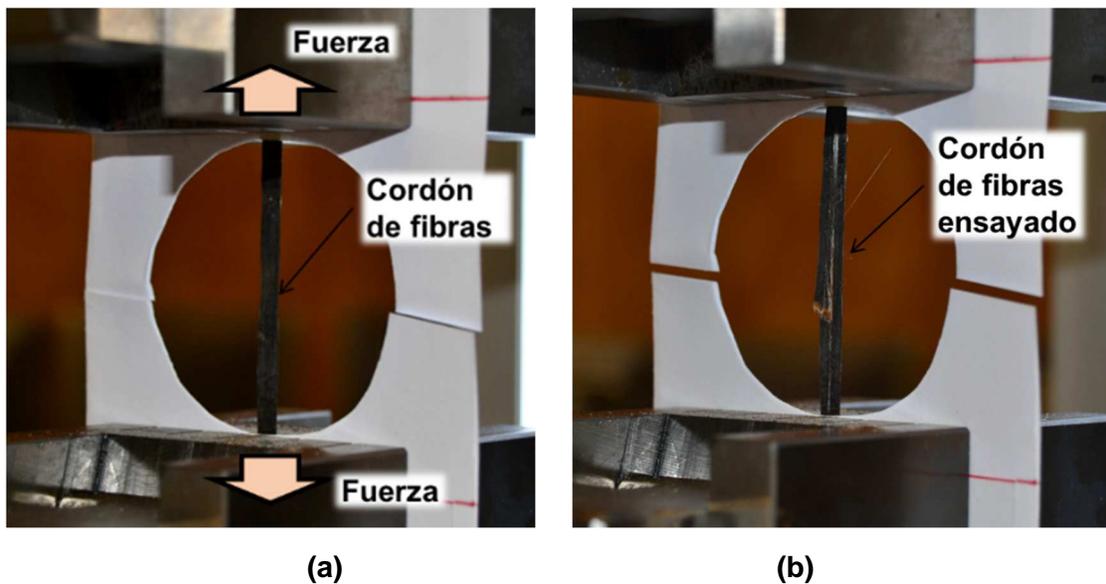


Figura 3. Tracción sobre un cordón de fibras de G3: (a) antes, y (b) después del ensayo.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Morfología y comportamiento térmico de los cordones de fibras

En la Figura 4 se presentan dos imágenes correspondientes a un cordón de fibras del geosintético G1 de poliéster, antes y después de ser sometido al proceso de deterioro por compactación Proctor. Como se puede observar en estas Figuras, previo al procedimiento de deterioro los cordones de fibras presentan una superficie regular con sus fibras alineadas en la misma dirección y un recubrimiento bituminoso distribuido uniformemente (Figura 4(a)). Sin embargo, tras el procedimiento de deterioro (Figura 4(b)), algunos de los cordones de fibras de los geosintéticos presentan daños físicos, tales como aplastamientos, pérdida del recubrimiento bituminoso y en muchos casos rotura de fibras por esfuerzos de punzonamiento. La existencia de estos daños hace prever una reducción de las propiedades mecánicas de los cordones de fibras, sumado a los posibles daños térmicos efecto del contacto con el árido en caliente.

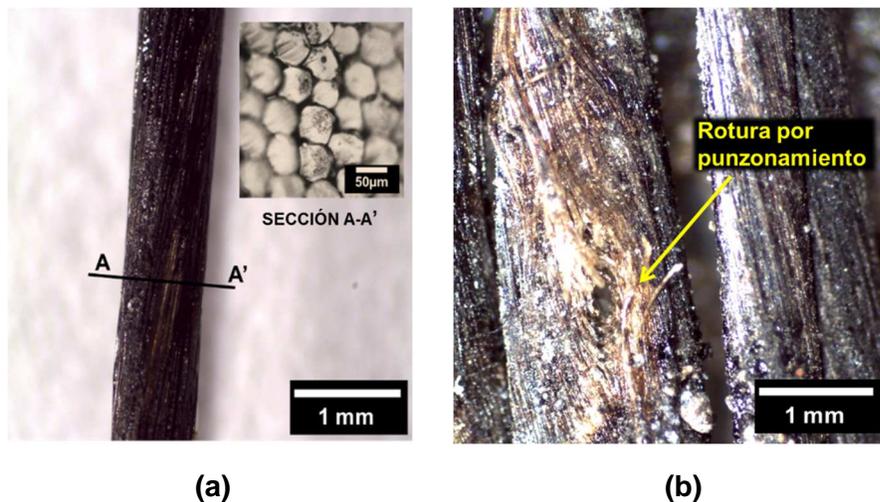


Figura 4. Fotografía de un cordón de fibras de G1 antes y después del deterioro por compactación Proctor: (a) cordón de fibras de PES, y (b) cordón de fibras dañado por punzonamiento de áridos de escoria.

En esta línea, en la Figura 5(a) se muestra la pérdida de masa (línea continua) y la tasa de pérdida de dicha masa (derivada de masa, línea discontinua) en función de la temperatura de ensayo TGA, para todos los geosintéticos ensayados. Se puede observar que la mayor pérdida de masa de los geosintéticos G1 y G3 ocurre a una temperatura que fluctúa entre los 350°C y 400°C, muy superior a la que experimentan normalmente los geosintéticos (rango 20°C-150°C). Sin embargo, en el caso del geosintético G2, éste registra una primera pérdida de masa a una temperatura de

aproximadamente 80°C. Este resultado es importante ya que la pérdida de masa de los materiales que componen los geosintéticos puede variar su comportamiento mecánico con respecto al material en estado inicial, como ya demostraron otros autores en (Norambuena y Gonzalez, 2015).

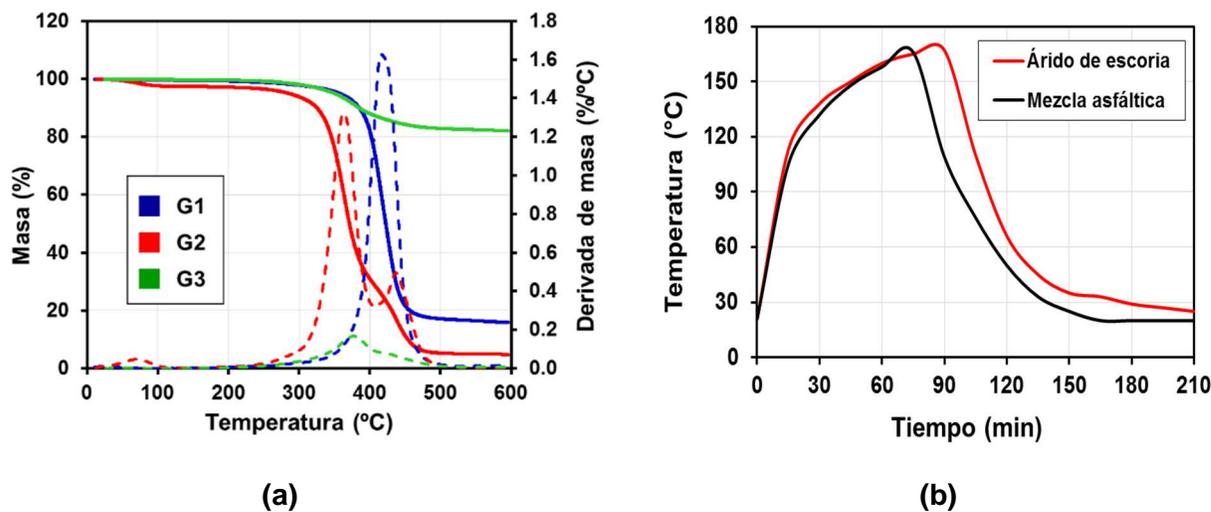


Figura 5. (a) Resultado obtenido del ensayo TGA realizado para los geosintéticos, y (b) curvas calentamiento-enfriamiento del árido de escoria y la mezcla asfáltica.

### 3.2 Resistencia a la tracción de los cordones de fibras

En la Figura 6 se muestran los resultados de todos los valores de  $F_{max}$  registrados para los diferentes estados y tipos de geosintéticos evaluados representados en un gráfico semilogarítmico. De este modo, en la Figura 6(a) se muestra la fuerza máxima de los geosintéticos en función del número de golpes, y en la Figura 6(b) la fuerza máxima de los geosintéticos en función del tiempo de calentamiento. En estas Figuras, se observa que el material G3 presentó valores de  $F_{max}$  mayores a los registrados por los geosintéticos G1 y G2. Así mismo, en ambos casos el valor de la fuerza máxima se vio reducido ligeramente con el incremento del número de golpes (Figura 6(a)) y tiempo de calentamiento (Figura 6(b)), aunque esta variación no resultó significativa. Con el objetivo de comprobar esto, todos los valores de  $F_{max}$ , independientemente del número de golpes y del tiempo de calentamiento, han sido representados en gráficos de probabilidad-probabilidad Normal (ver Figura 7). En estos gráficos, se observa que todos los datos de  $F_{max}$  se ajustan a una distribución de tipo normal alineados a una recta 1:1, demostrando que las variables número de golpes y tiempo de calentamiento no presentan una influencia significativa en el valor de la fuerza máxima a tracción de los cordones de fibras de los geosintéticos evaluados. En conclusión, todos los valores de  $F_{max}$  pueden ser

considerados como el mismo valor independientemente del número de golpes y el tiempo de calentamiento.

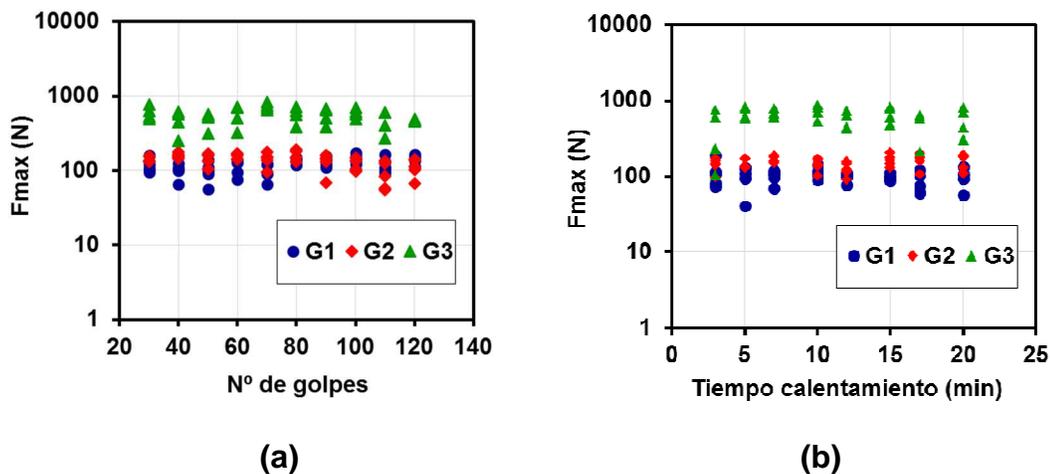


Figura 6. Valores de  $F_{max}$  obtenidos del ensayo de tracción, tras los distintos estados: (a) golpes, y (b) calentamiento.

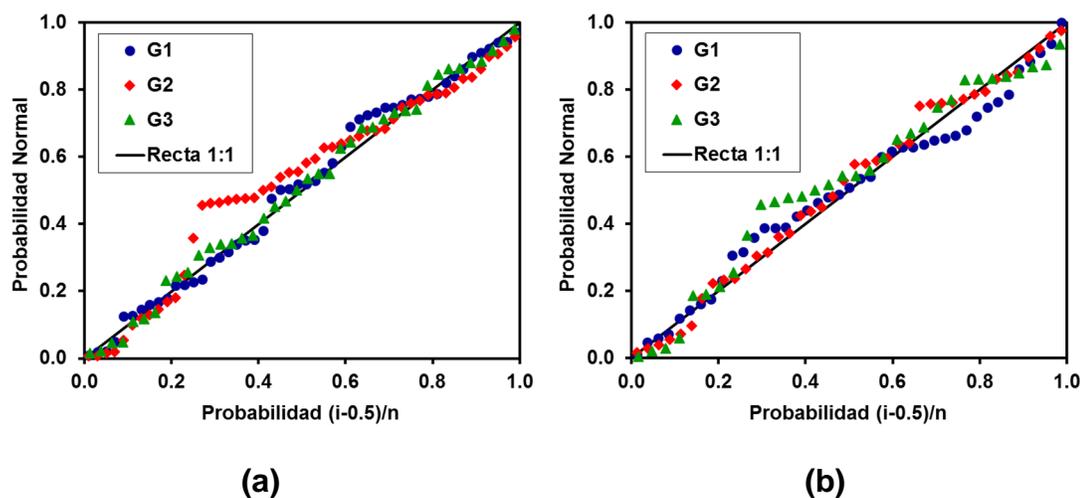


Figura 7. Gráfico probabilidad-probabilidad Normal para los valores de  $F_{max}$ : (a) golpes, y (b) calentamiento.

Adicionalmente, en la Tabla 2 se muestran los resultados promedios de la fuerza máxima resistida a tracción ( $F_{max}$ ) y sus parámetros estadísticos, para todos los cordones de fibras ensayados. De esta Tabla, se concluye que la resistencia a la tracción que presentaron los cordones de fibras de G3 resultó aproximadamente 4.5 veces mayor a la alcanzada por los cordones de fibras de G1 y G2. Este comportamiento fue registrado para los valores alcanzados en los estados de golpes y calentamiento, como se ha observado en la Figura 6. Sin embargo, en

el caso del deterioro usando compactación Marshall estos resultados fueron diferentes, registrándose una reducción notoria de un 40% y 70% en los valores de  $F_{max}$  para las fibras de los geosintéticos G1 y G3, respectivamente. Esto comprueba que el proceso de extendido y compactación de una mezcla asfáltica en caliente sobre los geosintéticos estudiados, reduce significativamente la resistencia mecánica de los cordones de fibras. Además, también se ha comprobado que la simulación del calentamiento y compactación usando un árido en caliente, no produce una disminución significativa de la resistencia mecánica en los geosintéticos. Por tanto, se concluye que compactar sobre los geosintéticos un material térmicamente similar a una mezcla asfáltica como es un árido de escoria en caliente (ver Figura 5(b)), no necesariamente reduce significativamente el valor de la fuerza máxima resistida a tracción.

Tabla 2. Valores de  $F_{max}$  obtenidos del Ensayo de Tracción sobre Cordones de Fibras.

Geosintético	$F_{max}$ (N) $\pm$ Desviación estándar (CV)			
	Referencia	Golpes	Calentamiento	Comp. Marshall
G1	137.3 $\pm$ 7.2 (5)	120.7 $\pm$ 18.4 (15)	100.2 $\pm$ 9.0 (9)	79.6 $\pm$ 33.7 (42)
G2	123.2 $\pm$ 11.8 (10)	135.1 $\pm$ 22.6 (17)	152.0 $\pm$ 13.9 (9)	122.1 $\pm$ 30.4 (25)
G3	576.5 $\pm$ 25.2 (4)	551.3 $\pm$ 83.3 (15)	611.7 $\pm$ 108.5 (18)	132.5 $\pm$ 43.1 (33)

### 3.3 Influencia del proceso de deterioro en la fuerza máxima de los cordones de fibras

Para cuantificar el daño de los geosintéticos tras los procesos de deterioro, se ha definido un Ratio de Daño (RD) dado por la Ecuación (1). Este Ratio se ha definido como el cociente entre la fuerza máxima resistida por un cordón de fibras sometido a un cierto proceso de deterioro ( $F_{max,i}$ ), y la fuerza máxima promedio de los cordones de fibras del estado inicial ( $F_{max,r}$ ), ver Figura 8(a). Este valor representa la resistencia conservada a la tracción por los cordones de fibras de geosintéticos, tras ser sometidos a un cierto proceso de deterioro.

$$RD = \frac{F_{max,i}}{F_{max,r}} \quad (1)$$

De este modo, la Figura 8(b) representa los valores de RDs promedio obtenidos para los diferentes geosintéticos y procesos de deterioro aplicados. En esta Figura, se observa que el procedimiento de deterioro por compactación Marshall es el que produce la mayor reducción en los valores de la resistencia a la tracción de los geosintéticos, seguido por los procesos de golpes y calentamiento, respectivamente. Sin embargo, este resultado dependerá del tipo de material que compone los cordones de fibras de los geosintéticos, ver Tabla 1. Así, el geosintético G1 de

poliéster presenta la mayor reducción en la fuerza máxima resistida, viéndose afectada por los tres procesos de deterioro ( $RD < 1$ ). Mientras que el geosintético G2 de polivinil-alcohol presenta mayormente un incremento en la fuerza máxima resistida tras los procesos de deterioro ( $RD > 1$ ). Esto puede deberse al comportamiento térmico que presenta el polivinil-alcohol. En este estudio, se ha considerado como hipótesis que el polivinil-alcohol expuesto al calor por conducción (presente en todos los estados) puede modificar su estructura interna rigidizando el material. Esto pudo comprobarse en los ensayos térmicos TGA (ver Figura 5(a)) donde el geosintético G2 presentó una mayor susceptibilidad al calentamiento frente a los otros geosintéticos (G1 y G3). Por otra parte, el geosintético G3 de fibra de vidrio (material más resistente) no experimenta una variación significativa con respecto al valor de referencia en los dos primeros casos (golpes y calentamiento,  $RD \approx 1$ ), pero sí frente a la compactación Marshall. Sin embargo, observando las barras de error para los diferentes resultados de ratios en los procedimientos de golpes y calentamiento, se concluye que independientemente del tipo de geosintético, los valores de ratios pueden ser similares. Con el objetivo de comprobar esto, todos los valores de RDs, independientemente del tipo de geosintético, han sido representados en un gráfico de probabilidad-probabilidad ajustado a una ley de distribución de tipo Weibull y alineados a una recta 1:1, donde la variabilidad de esta función ocurre debido a la dispersión de los resultados de ratios y no al tipo de estado aplicado (ver Figura 9). En este estudio, se ha considerado una función de distribución de tipo Weibull, debido a que el proceso de rotura en los cordones de fibras ocurre por la acción repetida de esfuerzos mecánicos generados por los áridos de escoria en cada golpe aplicado.

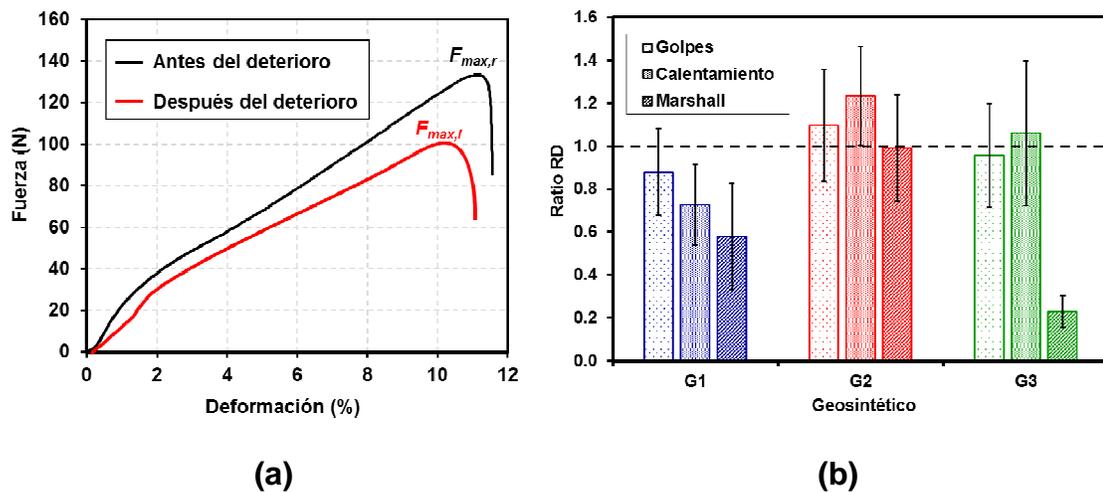


Figura 8. (a) Ejemplo de curva fuerza-deformación del geosintético G1, y (b) valores de RDs para los geosintéticos tras los distintos procesos de deterioro.

Finalmente, puede concluirse que un cordón de fibras se verá dañado en mayor proporción siempre que se supere un cierto umbral de energía de compactación, la cual en el caso de los áridos resultó menor a la registrada en la compactación normal tipo Marshall. Además, como trabajos futuros se recomienda duplicar las energías de compactación usando áridos de escoria, con el objetivo de alcanzar valores de daños cercanos a los producidos usando la compactación tipo Marshall.

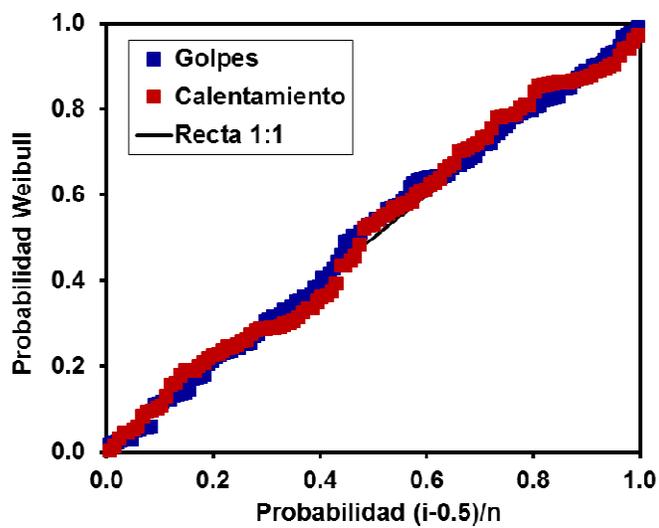


Figura 9. Gráfico probabilidad-probabilidad Weibull para los valores de RD.

#### 4 CONCLUSIONES

En este trabajo, se ha desarrollado un nuevo procedimiento de deterioro en laboratorio que trata de simular las sollicitaciones térmicas y mecánicas que experimentan los geosintéticos durante su instalación bajo una mezcla asfáltica en caliente. El daño producido se ha cuantificado a través de las propiedades mecánicas de los materiales obtenidas empleando un ensayo de tracción sobre cordones de fibras. Basadas en los resultados del estudio, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Se ha comprobado que tras el procedimiento de deterioro por compactación Proctor, los cordones de fibras de los geosintéticos se dañan, presentando daños físicos tales como aplastamientos, pérdida del recubrimiento bituminoso y en muchos casos rotura de fibras debido a esfuerzos de punzonamiento. Esto hace prever una reducción de las propiedades mecánicas de los cordones de fibras.
- Además, de los ensayos de tracción en los cordones de fibras, se concluyó que el procedimiento de deterioro por compactación Proctor no produce una reducción significativa de la fuerza máxima resistida a tracción por los cordones de fibras de los geosintéticos evaluados.
- Asimismo, del análisis probabilístico de los resultados, se pudo comprobar que las variables número de golpes y tiempo de calentamiento no presentan una influencia significativa en el valor de la fuerza máxima a tracción de los cordones de fibras de los geosintéticos evaluados.
- Por otro lado, el proceso de deterioro por compactación Marshall produjo una reducción notoria en los valores de la fuerza máxima para los cordones de fibras de los geosintéticos evaluados, disminuyendo en un 40% y 70% la fuerza máxima resistida a tracción por G1 y G3, respectivamente. Esto comprueba que el extendido y la compactación de una mezcla asfáltica en caliente reducen las propiedades mecánicas de los cordones de fibras.
- Por lo anterior, se concluyó que aunque se compacte sobre los geosintéticos un material térmicamente similar a una mezcla asfáltica (árido de escoria), no necesariamente producen la misma reducción en el valor de la fuerza máxima resistida a tracción.

- Adicionalmente, se ha concluido que la mayor reducción de la fuerza máxima a tracción de los geosintéticos es provocada por la compactación Marshall, seguido por los procesos de golpes y calentamiento, respectivamente. Sin embargo, este resultado depende del tipo de material que componen los cordones de fibras de los geosintéticos.
- También, se ha concluido que un cordón se verá dañado en mayor proporción siempre que se supere un cierto umbral de energía de compactación en el proceso, que en el caso de la compactación usando áridos en caliente resultó menor a la registrada en la compactación tipo Marshall.
- Finalmente, como trabajos futuros se recomienda duplicar las energías de compactación usando áridos de escoria en caliente, con el objetivo de alcanzar valores de daños cercanos a los producidos usando la compactación tipo Marshall.

## 5 REFERENCIAS

- Allen, T. M., Bathurst, R. J. (1994). Characterization of Geosynthetic Load-strain Behavior after Installation Damage. *Geosynthetics International*, 1(2): 181-199.
- Benson, C. H., Kucukkirca, I. E., Scalia, J. (2010). Properties of geosynthetics exhumed from a final cover at a solid waste landfill. *Geotextiles and Geomembranes*, 28(6): 536-546.
- Button J.W., Lytton R.L. (2003). Guidelines for using geosynthetics with HMA overlays to reduce reflective cracking, Report No. 1777-P2, Texas Transportation Institute.
- Cleveland, G. S., Button, J. W., Lytton, R. L. (2002). Geosynthetics in flexible and rigid pavement overlay systems to reduce reflection cracking, Report No. FHWA/TX-02/1777-1, Texas Transportation Institute, Texas A&M University System.
- Correia, N. D. S., Bueno, B. D. S. (2011). Effect of bituminous impregnation on nonwoven geotextiles tensile and permeability properties. *Geotextiles and Geomembranes*, 29(2): 92-101.
- Delbono, H.L., Guidice, C.A. (2014). Adherence in a pavement rehabilitated with a polymeric grid used as interlayer. *Construction and Building Materials*, 54: 454-459.
- Delgadillo, R., Wahr, C., García, G., González, A. (2012). Asphalt Technology in Chile, Leading Research and Practice. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 81: 775-795.
- Gonzalez-Torre, I., Calzada-Perez, M.A., Vega-Zamanillo, A., Castro-Fresno, D. (2014). Damage evaluation during installation of geosynthetics used in asphalt pavements. *Geosynthetics International*, 21(6): 377-386.
- Hufenus, R., Rueegger, R., Banjac, R., Mayor, P., Springman, S. M., Brönnimann, R. (2006). Full-scale field tests on geosynthetic reinforced unpaved roads on soft subgrade. *Geotextiles and Geomembranes*, 24(1): 21-37.
- Hufenus, R., Rüeegger, R., Flum, D., Sterba, I. J. (2005). Strength reduction factors due to installation damage of reinforcing geosynthetics. *Geotextiles and Geomembranes*, 23(5): 401-424.

- Norambuena-Contreras, J., Barraza, D. Z., Castro-Fresno, D. Vega-Zamanillo, A. (2009). Thermal analysis of geosynthetics used in the rehabilitation of pavements. [Análisis térmico de geosintéticos utilizados en la rehabilitación de pavimentos]. *Ingeniare*, 17(1): 95-100.
- Norambuena-Contreras, J., Gonzalez-Torre, I. (2015). Influence of geosynthetic type on retarding cracking in asphalt pavements. *Construction and Building Materials*, 78:421-429.
- Nunn, M. E. (1989). An investigation of reflection cracking in composite pavements in the United Kingdom. Proceedings of 1st Conference on Reflective cracking in Pavements, Liege, pp. 146-153.
- Pinho-Lopes, M., Lopes, M. L. (2013). Tensile properties of geosynthetics after installation damage. *Environmental Geotechnics (ICE)*, 1 (EG3): 161-178.