

# Ensayo de resistencia a la penetración estática de geotextiles según normativa argentina



Luis Ricci, Enrique Fensel, Gerardo Botasso  
LEMaC Centro Nacional de Investigaciones Viales  
La Plata, Argentina

## 1. Resumen

El presente trabajo trata fundamentalmente de encontrarle solución a un problema como es la ejecución del ensayo de penetración estática en geo-textiles, mediante la implementación de técnicas de bajo costo y la adaptación del instrumental existente en laboratorios o centros de investigaciones viales.

A partir de aquí, y a modo de situar al lector, haremos una breve definición de geotextil, mencionando los tipos que se encuentran en el mercado, las determinaciones que deben realizarse a estos tipos de materiales, y la importancia del ensayo de penetración estática.

Por último trataremos con detenimiento la adaptación del instrumental para la correcta ejecución del ensayo y las primeras experiencias realizadas en nuestro centro de investigación.

## 2. Introducción

### 2.1 Definición de Geotextil:

Según el pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes de España, un Geotextil se define como: "Material textil plano, permeable, polimérico (sintético o natural) que puede ser no tejido, tricotado o tejido, y que se emplea en ingeniería civil en contacto tanto con suelos como con otros materiales para aplicaciones geotécnicas".

Otra definición más sencilla se refiere al Geotextil como una tela tejida o no tejida, constituida por filamentos de fibras sintéticas utilizada en la industria de la construcción para cumplir funciones como: filtros, protección de taludes, control de erosión,

refuerzos, drenes, reductor de grietas reflejadas, etc.

### 2.2 Tipos de Geotextiles:

Por la variedad de productos que se apegan a esta definición se podría clasificar al geotextil siguiendo numerosos parámetros. Aquí se ha optado por hacer una primera gran clasificación entre geotextiles tejidos, tricotados y no tejidos.

**Geotextil tejido:** Geotextil fabricado al entrelazar, generalmente en ángulo recto, dos o más conjuntos de hilos, fibras, filamentos, cintas u otros elementos. Los geotextiles tejidos presentan como características particulares un alto módulo de elasticidad y alta resistencia, con distintos valores a lo largo y ancho de la pieza (anisotropía), sumado esto a bajas deformaciones hasta la rotura. La elaboración puede variarse de modo que el geotextil terminado tenga igual resistencia en ambas direcciones. Otra característica de importancia es que la estructura porosa presenta un estrecho rango de tamaño de abertura de poros.

**Geotextil tricotado:** Geotextil fabricado por el entrelazado de hilos, fibra, filamentos u otros elementos. A diferencia de los anteriores este tipo no presenta un entrecruzamiento ordenado sino que lo hace de manera aleatoria.

**Geotextil no tejido:** Geotextil fabricado con fibras cortadas o filamentos continuos que orientados regular o aleatoriamente forman una malla en forma de lámina plana. A su vez este tipo de geotextiles puede subclasificarse según el tipo de unión de sus filamentos. Encontramos entonces:

**Geotextil no tejido, ligado químicamente:** La unión entre sus filamentos se consigue mediante una resina.

**Geotextil no tejido, agujeteado o ligado mecánicamente:** la unión entre sus filamentos es mecánica y se consigue

| Ensayo                                                                                                                                  | Norma                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <b>Ensayos para determinar las características físicas y mecánicas</b>                                                                  |                          |
| "Método estándar para determinar la masa por unidad de área en Geotextiles"                                                             | ASTM D5261<br>IRAM 78002 |
| "Método estándar para medir el espesor nominal de Geotextiles y Geomembranas"                                                           | ASTM D5199<br>IRAM 78004 |
| "Método estándar para determinar la carga de rotura y elongación de Geotextiles" (GRAB BREAKING TEST)                                   | ASTM D4632               |
| Método estándar para determinar el comportamiento resistente de Geomembranas a través del método de tracción de la banda ancha          | ASTM D4885               |
| "Método estándar para evaluar la resistencia al desgarro trapezoidal en Geotextiles" (TRAPEZOIDAL TEAR TEST)                            | ASTM D4533               |
| "Método estándar para determinar la abertura aparente de poros en Geotextiles"                                                          | ASTM D4751               |
| "Método estándar para evaluar el índice de resistencia a la penetración estática de Geotextiles, Geomembranas y productos relacionados" | ASTM D4833<br>IRAM 78011 |
| "Ensayo de perforación dinámica (ensayo por caída de un cono)"                                                                          | IRAM 78009               |
| <b>Ensayos para determinar las características hidráulicas y Geotécnicas</b>                                                            |                          |
| "Método estándar para evaluar la permeabilidad al agua de Geotextiles"                                                                  | ASTM D4491               |
| "Método estándar para determinar permeabilidad (en corriente plana) de Geotextiles y productos relacionados"                            | ASTM D4716<br>IRAM 78010 |
| "Determinación de las características de permeabilidad al agua normal al plano, sin carga"                                              | IRAM 78007               |
| <b>Ensayos para determinar las características de durabilidad</b>                                                                       |                          |
| "Método estándar para evaluar el deterioro de Geotextiles expuestos a la luz ultravioleta y agua (Aparato tipo arco de Xenón)"          | ASTM D4355               |

atravesando la estructura con un gran número de agujas en movimiento rápido y aleatorio.

Geotextil no tejido, ligado térmicamente: La unión entre sus filamentos se logra conjugando presión y calor en un proceso de calandrado.

### 2.3 Principales ensayos a realizar sobre un geotextil:

El Centro de Investigaciones Viales forma parte del subcomité de Geosintéticos de IRAM, en el cual se discuten y establecen las normas argentinas al respecto.

El IRAM (Instituto Argentino de Normalización) es una asociación civil sin fines de lucro cuyas finalidades específicas, en su carácter de Organismo Argentino de Normalización, son establecer normas técnicas y la aplicación de la normalización como base de la calidad.

Debido a la experiencia obtenida con esta participación y sumado a un profundo análisis que se ha realizado de las normativas tanto americanas como europeas y basados en el criterio de evaluar las características del geotextil que respondan a un uso, se ha confeccionado el presente listado de ensayos que son ineludibles a la hora de caracterizar un geotextil.

### 2.4 La importancia del ensayo de penetración estática:

La creciente utilización de productos geotextiles en la obra vial nos hace tener en cuenta la necesidad de evaluar las propiedades de dichos materiales.

Dentro de los estudios comenzados en nuestro centro, uno de los primeros ensayos a desarrollar fue la determinación de Penetración Estática, para lo cual se procedió al estudio de la normativa Argentina (IRAM 78011) y la de los EEUU (ASTM D4833).

En resumen, el procedimiento de ensayo descrito por ambas normas es muy similar; el cual plantea penetrar la muestra de geotextil mediante un pistón, con una velocidad de desplazamiento constante, midiendo la carga y el hundimiento.

Del estudio surge que las principales diferencias se encontraron en el instrumental utilizado y se optó por la norma IRAM 78011 debido a las razones que a continuación se describen:

-Es una norma vigente en nuestro país.

-Los elementos utilizados son, en su mayoría, instrumental que se encuentra en un laboratorio vial o que se puede adaptar.

Creemos que este ensayo es de vital importancia para la caracterización de un Geotextil, como así también que evalúa en forma directa las condiciones de uso.

Este ensayo cuantifica la dificultad con que un Geotextil podría ser perforado por un elemento punzante que, soportado estáticamente sobre la tela, es presionado energicamente sobre la misma.

Esta propiedad será de relevancia crítica en sistemas de control de erosión en que la protección se realice con elementos punzantes y de gran peso (como gaviones) o, por la naturaleza misma en la aplicación del geotextil como protección. La resistencia al punzonamiento estático deberá ser a sí mismo considerada en los casos en que sobre una capa de agregado punzante transite maquinaria de gran porte.

La importancia del ensayo reside en el hecho que ante cualquiera de las situaciones antes mencionadas el Geotextil podrá fallar, y si lo hace perderá la mayoría de

las funciones para las cuales fue colocado. Dejando de esta manera inutilizado el material, con la pérdida del mismo y los costos que ello conlleva.

### 3. Desarrollo

Los Geotextiles han sido utilizados en las Obras Viales sin el adecuado control. Por lo que surge la necesidad de ejecutar nuevos ensayos. Debido a la situación económica en que se encontraba nuestro país años atrás y que actualmente seguimos atravesando; y frente a la problemática planteada, nos vemos obligados a encontrar soluciones a dichos problemas desde un punto de vista práctico y económico.

Es por ello que en la siguiente sección nos abocaremos a describir los procesos de adaptación del instrumental existente y la generación de nuevas herramientas necesarias para la adecuada ejecución del ensayo de Penetración Estática.

Por otro lado sabemos que es de suma importancia que nuestras pruebas sean ejecutadas bajo norma; por lo cual el desafío se acrecienta debiendo llegar a obtener un procedimiento normalizado, de fácil aplicación y económico para la ejecución del ensayo.

#### 3.1 Aplicación de la carga:

En primera instancia aparece como problema a resolver, la cuestión del mecanismo de aplicación de carga. Planteándose como primera solución la utilización de la prensa MARSHALL. Equipo muy difundido por las diferentes aplicaciones en laboratorios de carácter vial. Este es un dispositivo de funcionamiento mecánico el cual se caracteriza por el desplazamiento de un pistón en ambas direcciones (ascenso y descenso) con una velocidad constante de 50 mm/min la cual es coincidente con los requerimientos de norma.

El principal y más importante inconveniente viene dado por el recorrido de dicha máquina, la cual sólo poseía una carrera de 50 mm, que fue luego ampliada a 100 mm por las características de gran elongación de los nuevos materiales a ensayar. Esto, además, permitió trabajar con mayor facilidad y seguridad.

Esta ampliación del recorrido no fue una etapa fácil, ya que se debió modificar no sólo la estructura de la máquina, sino también el tornillo sin fin interno el cual

forma parte principal del mecanismo de desplazamiento.

Actualmente se están utilizando aros dinamométricos de 1000 Kg y de 500 Kg con flexímetros de centésima o milésima que miden su deformación. Pudiendo utilizarse cualquier otro tipo de aro según la resistencia que oponga el material a ensayar.

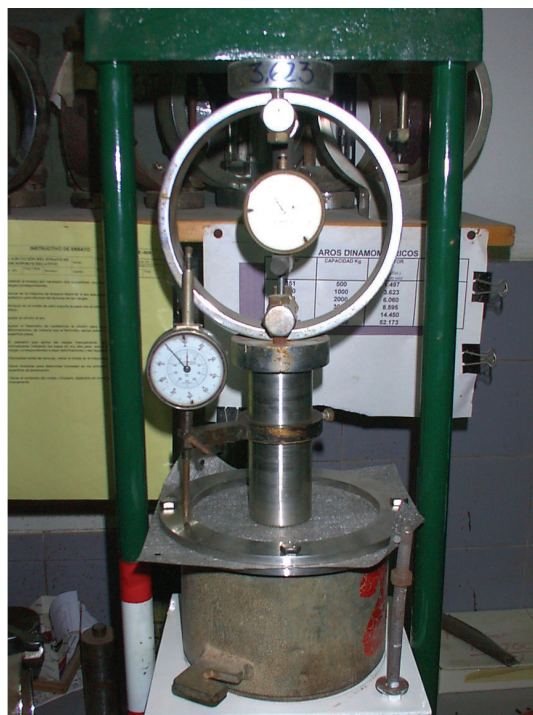
#### 3.2 Registro del hundimiento:

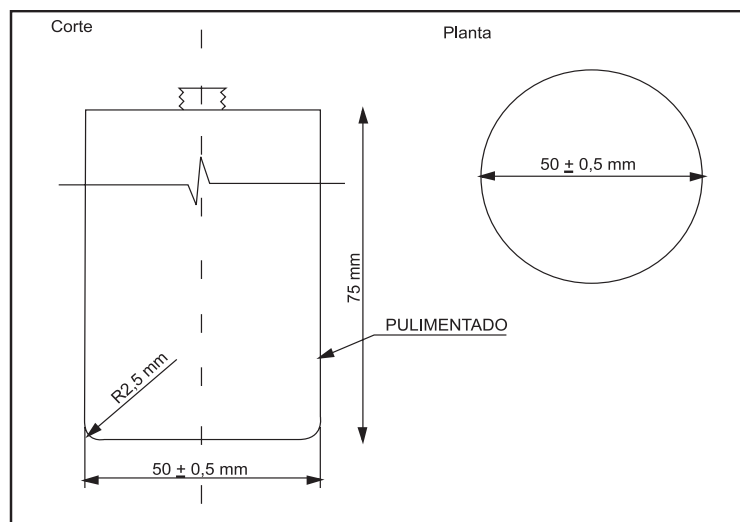
Dado que las especificaciones de norma no son muy exigentes, en cuanto a este aspecto se refiere (precisión de  $\pm 1$  mm); puede optarse por diferentes mecanismos para tal determinación. A nuestro criterio, quizás el más preciso, es la utilización de un flexímetro. Dicho elemento se encuentra sujeto al pistón utilizado en Valor Soporte y apoya sobre el plato mordaza, re-gistrando de esta manera la profundidad a la que penetra el pistón. Su recorrido debe ser como mínimo de 100 mm ya que se obtienen registros de hundimiento del orden de 50 a 60 mm; pudiéndose utilizar aquellos de recorrido de 50 mm para Geotextiles que posean menor deformación.

Otro dispositivo podría ser el constituido en una regla graduada, regulable en altura, adosado a una de las columnas de la máquina MARSHALL, durante el lapso que dure el ensayo. El registro de la carga se efectúa manualmente volcando los datos en una planilla de ensayo como la que se presenta al final de este artículo.

#### 3.3 Pistón de penetración:

Según la norma; la muestra de Geotextil debe ser penetrada por un pistón de características similares al pistón de Valor Soporte Relativo utilizado en ensayos de suelos. Este pistón debe ser de acero inoxidable y debe presentar una cierta geometría, cuya principal diferencia es su borde





Esquema 1. Pistón de penetración

biselado para evitar la concentración de tensiones en el ángulo de contacto pistón-geotextil y la obtención de resultados erróneos.

En este artículo pueden verse en detalle las características geométricas del pistón y fotos del mismo (ver el esquema 1).



Fotografía 2. Pistón y anillos mordazas

el material.

El pistón deberá tener una longitud de 75 mm y un diámetro de 50 mm  $\pm$  0,5 mm. El biselado será de forma tal que su radio sea de 2,5 mm.

### 3.4 Platos de sujeción o platos mordazas:

La norma estudiada requiere que el sistema de sujeción no genere tensiones previas al ensayo y que la muestra no deslice durante el mismo. Sólo fija como parámetro geométrico el diámetro interno de los anillos, el cual debe ser de 150 mm  $\pm$  0,5 mm.

Dada esta dimensión y su coincidencia con el diámetro interno de un molde de valor soporte puede utilizarse y de hecho nosotros lo estamos implementando como base de apoyo de estos anillos.

Debido a la gran libertad que la norma brinda al respecto hemos diseñado un juego de dos anillos de sujeción los cuales se presentan en el esquema 2. Estos anillos, fabricado en acero inoxidable tienen un diámetro interno de 150 mm cuyo borde es redondeado. Su diámetro externo de 200 mm deja un espacio de 25 mm de ancho en los cuales se realizan perforaciones opuestas diametralmente para alojar los tornillos que proporcionarán el ajuste necesario para evitar el deslizamiento de la muestra. Actualmente el número de tornillos de ajuste es de 4, no recomendándose un número menor. Si bien esta solución da excelentes resultados puede utilizarse un número mayor de estos.

El área de los anillos en contacto con la muestra debe presentar una superficie maquinada de forma tal que beneficie el agarre y evite el deslizamiento de la probeta. El plato inferior debe tener una muesca con forma adecuada para su apoyo en el molde de Valor Soporte.

## 4. Primeros ensayos de resistencia a la penetración

Con el instrumental descrito anteriormente se realizaron las primeras experiencias de penetración estática en Geotextiles.

La obtención y acondicionamiento de las probetas se realizó según la norma tratada (IRAM 78011). Procediendo a la perforación de las mismas (con sacabocado de igual diámetro al del tornillo pasante) para posibilitar su colocación en los anillos de sujeción. Se ensayó un material constituido por un polímero estabilizado, no tejido y soldado térmicamente de reconocida marca comercial. Cuya cartilla técnica especifica un valor de 1550 N (158,16 Kg) de resistencia a la penetración estática para el gramaje de 150 gr/m<sup>2</sup>.

Los ensayos se realizaron en tres formas diferentes; las cuales consistieron en:

- Carga directa en un solo proceso de carga, con la velocidad de norma (50mm/min), hasta alcanzar el máximo recorrido del vástago del flexímetro. Registrándose

únicamente la penetración máxima alcanzada y la carga para dicha penetración. Este procedimiento es recomendable para aquellas determinaciones en las que no se exigen las gráficas de curva-hundimiento. Estas experiencias sirvieron también, para observar atentamente las velocidades con que giraban las agujas de los instrumentos de precisión; utilizando ésta como base para determinar los intervalos, que luego se utilizaron para tomar las lecturas y graficar la curva carga-hundimiento. Recomendamos este último paso para aquellas instituciones que comienzan con este tipo de ensayos. Se han fijado los siguientes intervalos de penetración: 5 mm, 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm; dejando un casillero en blanco para la máxima penetración y carga de rotura.

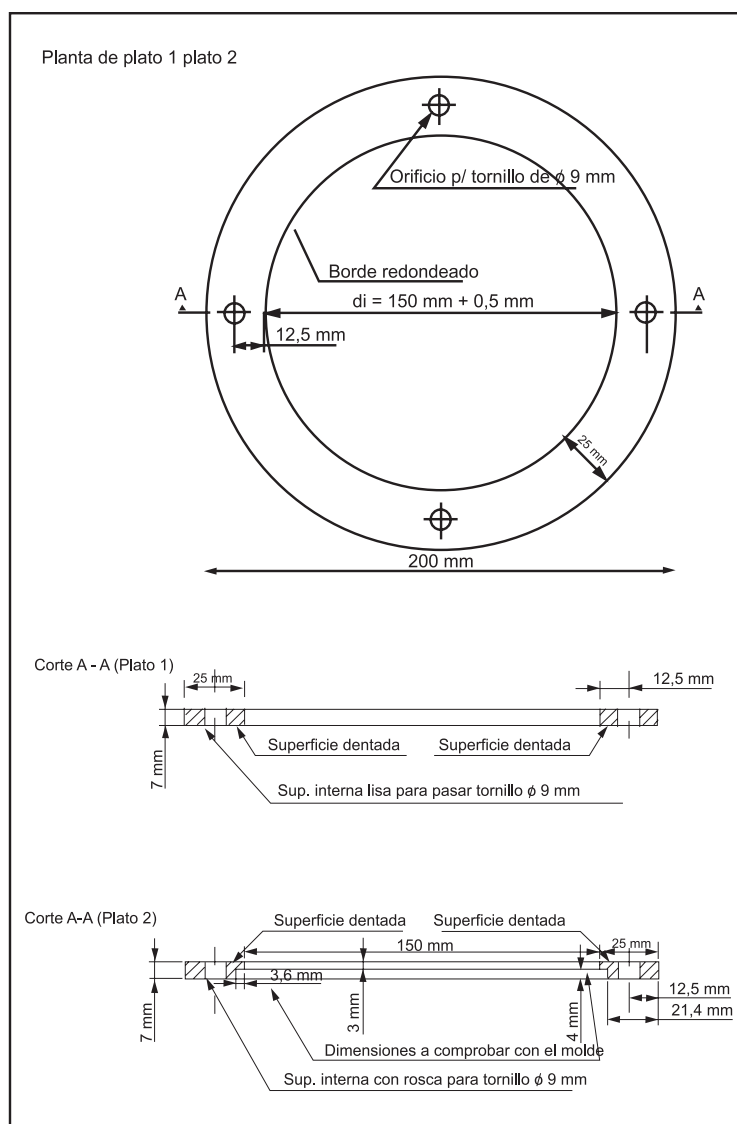
-Carga directa con la velocidad normal de ensayo (50mm/min) en 2 etapas de carga hasta llegar a la rotura. Registrándose valores de penetración (mm) y carga (kg) para los distintos intervalos fijados en el procedimiento anterior.

Dicho registro posibilitó el trazado de la curva carga-hundimiento. Pero este procedimiento no es recomendable ya que se observa un aumento en la resistencia a la penetración debido, posiblemente, a una relajación o recuperación elástica del material a partir de la naturaleza plástica de su constituyente.

Carga directa con la velocidad normal de ensayo (50mm/min), en una sola etapa, hasta llegar a la rotura.

Registrándose valores de penetración (mm) y carga (kg) para los distintos intervalos fijados. Este es el procedimiento más recomendable para ejecutar un ensayo de estas características, ya que a partir de la curva carga-hundimiento se pueden realizar otras conclusiones (módulo de elasticidad, tenacidad), dejadas de lado en un procedimiento que sólo registra carga y hundimiento final.

En este artículo se puede observar una planilla tipo en la cual se registran las cargas para los distintos valores de penetración prefijados, ya sea que la muestra se encuentre en condición seca o húmeda. Pudiendo graficarse, en un mismo esquema, ambas curvas para una adecuada comparación.



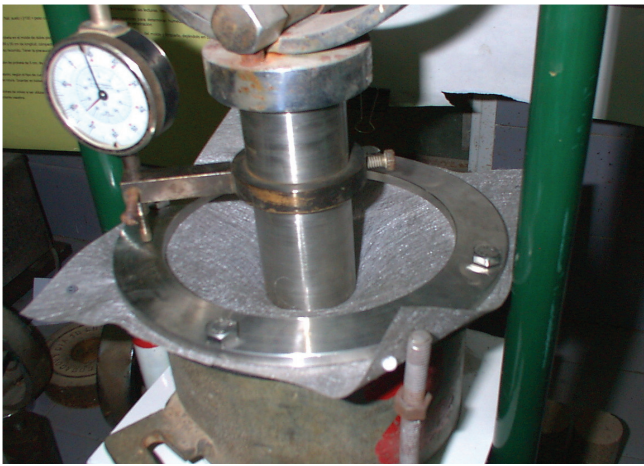
Esquema 2. Platos de sujeción

## 5. Conclusiones

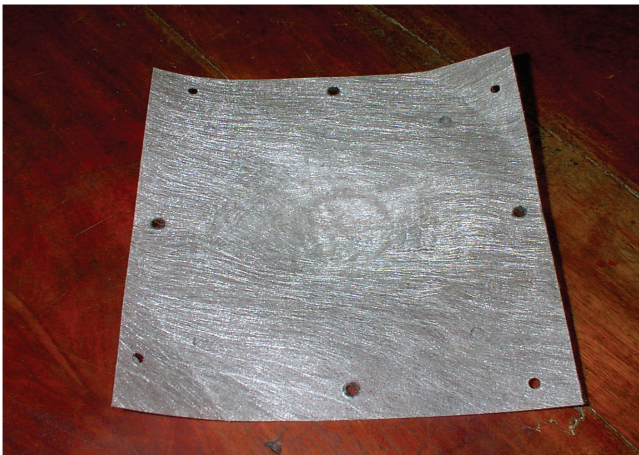
Sin duda, se cree que la adaptación de una tecnología existente, es también un avance tecnológico, por lo que las actividades realizadas han sido satisfactorias desde este punto de vista.

El sistema de mordazas y ajuste diseñado, funciona de manera eficiente sin producir desgarros en las muestras ni concentración de tensiones en las zonas de Geotextil agujereado. Este último, es un factor de relevancia al momento de hablar del ensayo de penetración estática; ya que la bibliografía y las experiencias previas de otros investigadores nos mencionan que existen problemas de fijación para algunos materiales de alto módulo y de elevada resistencia.

En el inciso 3 queda demostrado que mediante pequeñas adaptaciones y sin grandes inversiones podemos llegar a ejecutar el ensayo de penetración estática



Fotografía 3. Momento del ensayo



Fotografía 4. Muestra ensayada

en Geotextiles y productos relacionados de manera adecuada y respetando las normas; las cuales nos delimitan los parámetros mínimos a seguir para asegurar la repetitividad de los ensayos.

### Referencia bibliográfica

1. Norma IRAM 78011. Ensayo de penetración estática (pistón CBR). IRAM. 2002. República Argentina.
2. Norma ASTM D4833-00 Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geotextiles, Geomembranes, and Related Products. ASTM. 2000. United States.
3. Guidelines for the Certification of Geomembranes as a Component of Composite

Liners for Municipal and Hazardous Waste Landfills and for Lining Contaminated Land. Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM). 1994. Alemania.

4. Análisis del Uso de los Geotextiles en la Ingeniería Civil. Sociedad Argentina de Mecánica de Suelos. 1991. República Argentina.

5. Engineering use of geotextiles. Departments of The Army and The Air Force. 1995. United States.

6. Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes. Orden FOM/1382/02. 2002. España.