

Puesta a punto de una nueva metodología experimental para la determinación de la resistencia a la perforación de geomembranas sintéticas

MANUEL BLANCO (*); ANGEL CUEVAS (*); FRANCISCA CASTILLO (*); ESCOLASTICO AGUIAR (**)

RESUMEN Este trabajo pretende mostrar un nuevo método para la determinación de la resistencia a la perforación de geomembranas sintéticas, basado en el clásico método de la pirámide.

Se presenta y describe el método, con su instrumental necesario, procedimiento operatorio y expresión de resultados. Asimismo, se aplica a una serie de muestras de geomembranas sintéticas extraídas de embalses ubicados en las islas de Tenerife y La Palma.

Los materiales a que se hace referencia son: polícloruro de vinilo plastificado homogéneo (PVC-P/h), armado con fibra de vidrio (PVC-P/fv) y reforzado con tejido de poliéster (PVC-P/hs), polietileno de alta densidad (PEAD), copolímeros de etileno-acetato de vinilo (EVA/C), etileno-propileno monómero diénico (EPDM), polietileno clorosulfonado (CSM) y polipropileno (PP).

A NEW EXPERIMENTAL METHODOLOGY FOR THE DETERMINATION OF PUNCTURE RESISTANCE OF SYNTHETIC GEOMEMBRANES

ABSTRACT This work provides a new test method for the determination of puncture resistance of synthetic geomembranes. This new test is based on the pyramid method.

It is described the instrumentation, test procedure and results. Also, it is applied to some specimens of synthetic geomembranes coming from the waterproofing of reservoirs of the Tenerife and La Palma Islands.

We were studied the following materials: homogeneous plasticized poly(vinyl chloride), plasticized poly(vinyl chloride) with an insertion of glass fibres, plasticized poly(vinyl chloride) with an inner layer of polyester fibres, high density polyethylene, ethylene-vinyl acetate copolymers, ethylene-propylene-diene terpolymer, chlorosulphonated polyethylene and polypropylene.

Palabras clave: Resistencia; Perforación; Geomembranas sintéticas.

1. INTRODUCCIÓN

Si bien es cierto que las propiedades mecánicas convencionales como es el caso de las características de tracción pueden considerarse fundamentales a la hora de evaluar el estado de una lámina impermeabilizante, no es menos cierto que la resistencia mecánica a la percusión en sus distintas facetas presenta un interés notable, desde el punto de vista no sólo de los problemas derivados de la instalación de los materiales y del vandalismo a que se puede ver sometida la obra, si no también desde el comportamiento de la lámina sintética, fundamentalmente cuando se emplea como geomembrana ya sea en la impermeabilización de embalses, canales, vertederos, túneles y otros tipos de obras civiles.

La normativa española de láminas de tipo bituminoso hace referencia a una prueba de resistencia al punzonamiento estático (1), en la cual la lámina se encuentra sometida a la acción de una semiesfera con una determinada carga y a lo largo de un cierto periodo de tiempo. Las especificaciones para materiales sintéticos (2, 3, 4, 5) contemplan la prueba de resistencia mecánica a la percusión, ensayo de carácter dinámico, donde un percutor de acero de 500 g, terminado en forma de semiesfera de 12,7 mm de diámetro, se deja caer a través de un tubo graduado y se determina la altura desde donde no perfora al material sintético. La comprobación de la perforación se realiza mediante una prueba de estanquidad.

No obstante, la metodología anterior si bien era interesante no era suficiente para contemplar la perforación por piedras, áridos de aristas vivas y cualquier material punzante existente en el lugar sobre el que se instalaría la impermeabilización, sobre todo con el paso del tiempo y soportando las cargas correspondientes al uso de una estructura determinada. Por ello, cuando se redactó la norma de polie-

(*) Sector de Materiales. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX). Ministerio de Fomento.

(**) Balsas de Tenerife (BALTEN). Cabildo Insular de Tenerife. Pol. Ind. de San Jerónimo.

tileno de alta densidad para su uso en impermeabilización se contempló un método de punzonamiento, en la que un punzón piramidal incidía sobre la poliolefina hasta provocar su perforación (5). Con la aplicación de dicha normativa, los técnicos relacionados con el tema vieron la necesidad de modificar ligeramente la forma del punzón y distorsionarlo ligeramente para acercarse más a las condiciones de los materiales inorgánicos con los que va a estar en contacto la geomembrana.

El Comité Europeo de Normalización (CEN) a través de su grupo de trabajo 3 del Comité Técnico nº 189 (CEN TC 189/WG 3) está abordando este problema, basándose en el método americano del ensayo de la pirámide como procedimiento para evaluar la resistencia al punzonamiento (6). Otros países europeos están en la misma línea normativa y de investigación (7, 8), si bien los resultados hasta el momento se restringen fundamentalmente al polietileno de alta densidad, geotextiles y, en menor proporción al poli(cloruro de vinilo) plastificado.

En el trabajo que ahora presentamos, pretendemos dar a conocer un método desarrollado en el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales, modificando ligeramente el ya citado de "la pirámide". En el mismo se aplica el procedimiento a distintos materiales sintéticos. En un futuro trataremos de dar a conocer datos tanto del material en su estado original como en su evolución con el tiempo.

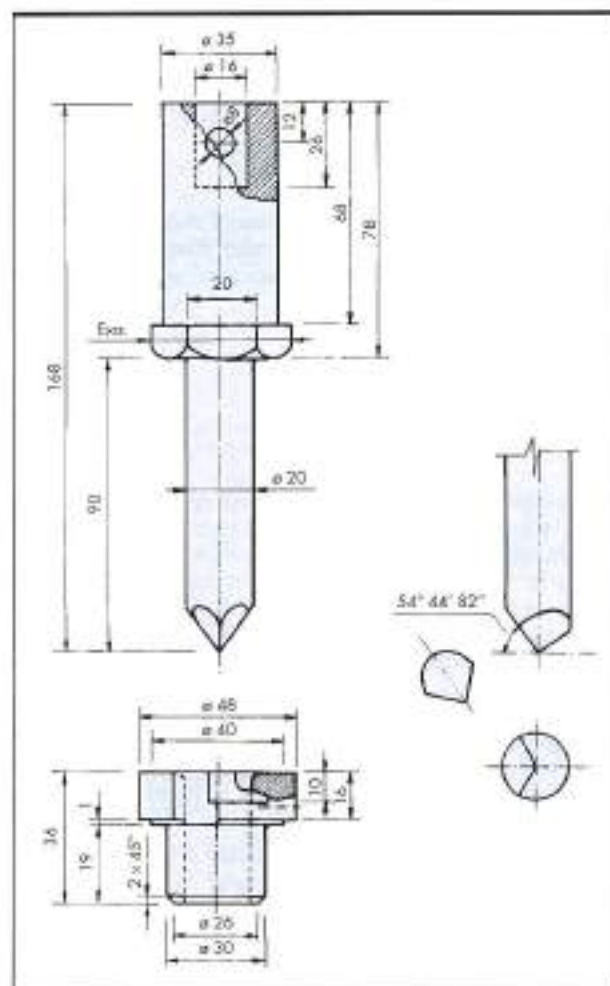


FIGURA 1.

2. DESCRIPCIÓN DEL NUEVO MÉTODO EXPERIMENTAL

2.1. APARATOS

Se empleó una máquina a tracción (dinamómetro INSTRON, modelo 1195) que mantuvo una velocidad de separación entre mordazas constante e igual a $5 \pm 0,5$ mm/min en sentido de compresión. La máquina está equipada de un registro gráfico con una sensibilidad de $\pm 10\%$.

Se utilizó una mordaza con un dispositivo de membrana con vástago perforante (figura 1), compuesta por dos coronas circulares, con un cilindro vaciado interiormente de $30 \pm 0,2$ mm de diámetro, que sujetan entre ellas a la probeta. Las mordazas van provistas de un dispositivo de alineación del vástago (figura 2), para que la perforación se realizara en el centro de la superficie libre de la probeta (figura 3).

El vástago perforante tiene el extremo de perforación en forma piramidal con sus aristas formando un ángulo de 90° . Dichas aristas están redondeadas a un radio de 0,5 mm. La superficie del vástago está adecuadamente endurecida (9).

2.2. PROBETAS

Se utilizaron probetas extraídas de las geomembranas y cortadas en forma de discos circulares de 50 mm de diámetro.

Las probetas se acondicionaron durante 24 horas, como mínimo, a $23 \pm 2^\circ$ C de temperatura y $50 \pm 5\%$ de humedad relativa.

2.3. PROCEDIMIENTO OPERATORIO

Las probetas se ensayaron por ambas caras.

Se conectó la máquina a la velocidad de ensayo y se anotó el valor de la carga de perforación, así como el recorrido experimentado por el vástago desde el contacto con la probeta hasta el instante de perforación.

2.4. EXPRESIÓN DE RESULTADOS

La carga de perforación y el recorrido experimentado antes del punzonamiento se obtienen como media aritmética entre los resultados de las probetas de ensayo, siendo sus expresiones Newtons y mm, respectivamente.

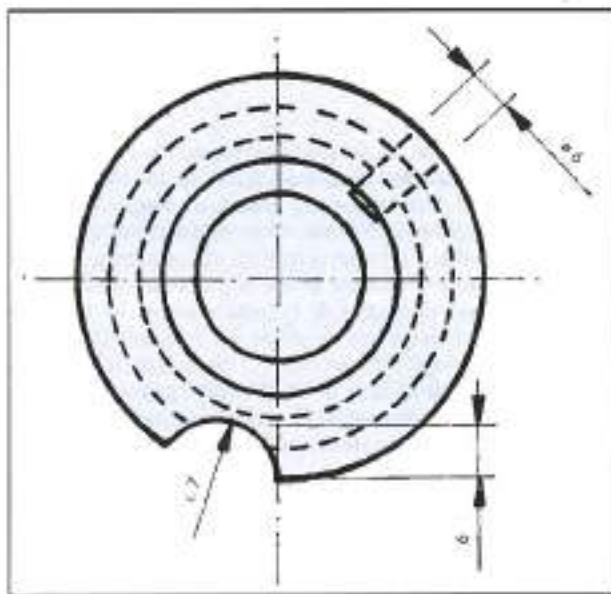


FIGURA 2.

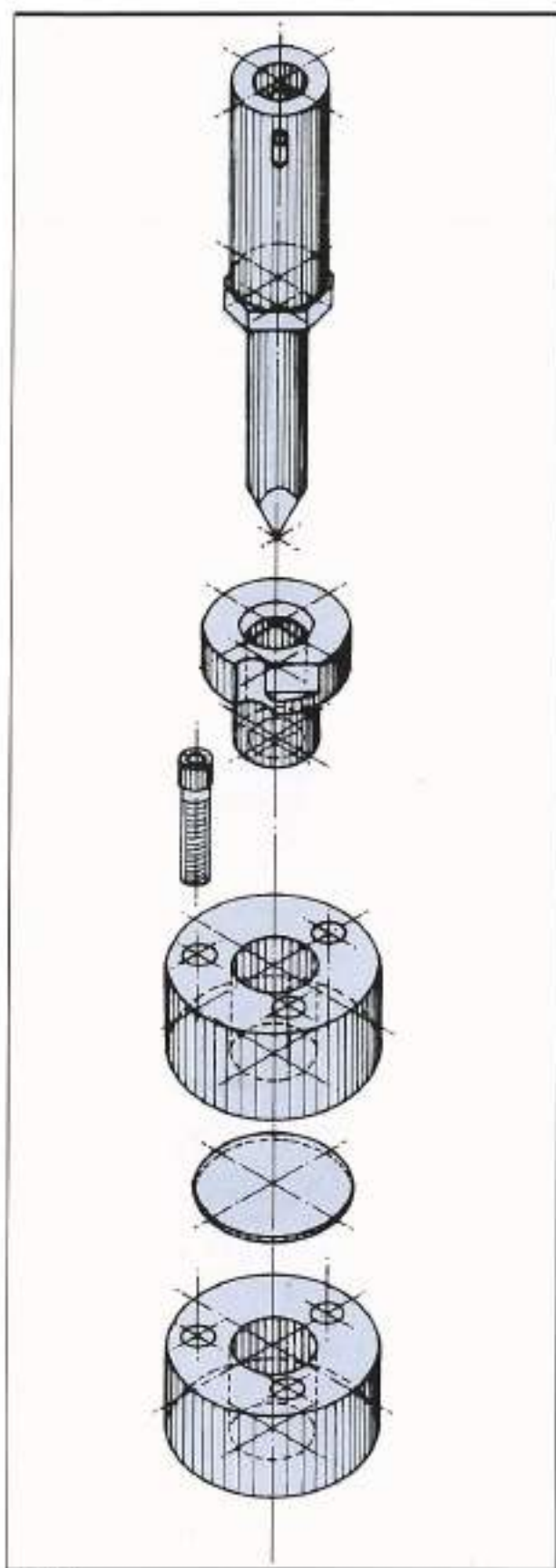


FIGURA 3.

Con objeto de obtener unos valores comparables e independientes del espesor del material considerado, se ha establecido la resistencia a la perforación como el cociente entre la carga de perforación y el espesor de la geomembrana, siendo sus dimensiones N/mm.

3. EXPERIMENTAL

3.1. MATERIALES

Los materiales considerados en este trabajo han sido geomembranas de poli(cloruro de vinilo) plastificado homogéneo (PVC-P/h), armado con fibra de vidrio (PVC-P/fv) y reforzado con tejido de poliéster (PVC-P/hs), polietileno de alta densidad (PEAD), copolímeros de etileno-acetato de vinilo (EVA/C), etileno-propileno monómero diénico (EPDM), polietileno clorosulfonado (CSM) y polipropileno (PP). Todas las muestras procedieron de geomembranas instaladas en las islas de Tenerife y La Palma.

3.2. PROCEDIMIENTO OPERATORIO

Las pruebas se han realizado según lo indicado en el epígrafe 2, por ambas caras de las probetas confeccionadas a partir de las geomembranas.

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Tipo de perforación

Al aplicar esta metodología experimental se ha podido comprobar que la forma de rotura depende de la naturaleza de los materiales que constituyen la geomembrana sintética, según se puede apreciar en la figura 4.

El polietileno de alta densidad y el polietileno clorosulfonado presentan una rotura de tipo estrellado con perforación en el centro.

El poli(cloruro de vinilo) plastificado sin refuerzo y el que lleva inserción de fibra de vidrio, también originan una rotura en forma de estrella que se produce en la parte externa.

El poli(cloruro de vinilo) plastificado con inserción de hilos sintéticos rompe, asimismo, en forma de estrella con perforación central o externa según el geotextil que lleve como refuerzo.

El copolímero de etileno-acetato de vinilo no llega a la perforación en el recorrido que alcanza la máquina de ensayo.

El polipropileno presenta una rotura lineal y alargada, en la zona central de la probeta.

Por último, el etileno-propileno-monómero diénico da lugar a una rotura central de gran diámetro.

3.3.2. Carga de perforación, resistencia a la perforación y recorrido antes de perforación

La carga de punzonamiento no siempre coincide con la carga máxima obtenida en el dinamómetro. Así en el polietileno, la perforación tiene lugar en todos los casos antes de alcanzar dicha carga máxima, mientras que en el copolímero de etileno-acetato de vinilo y en el polipropileno la rotura se produce tras pasar la mencionada carga. En el etileno-propileno-monómero diénico, polietileno clorosulfonado y poli(cloruro de vinilo) plastificado la rotura por perforación suele coincidir con la carga máxima detectada por la máquina, no obstante en determinadas probetas de poli(cloruro de vinilo) plastificado el punzonamiento se produce de una forma irregular, no coincidiendo totalmente con la citada carga máxima.

Los datos experimentales obtenidos figuran en la tabla I, donde se puede comprobar que el copolímero de etileno-ace-

tato de vinilo no llega a perforarse en el recorrido del pistón que tiene el dinamómetro. Las resistencias a la perforación más elevadas han sido las del polietileno de alta densidad y los distintos tipos de poli(cloruro de vinilo) plastificado empleados en esta prueba. Por el contrario, el recorrido experimentado por la máquina de ensayo antes de producirse el punzonamiento en la muestra de la geomembrana es muy elevado en el etileno-propileno-monómero diénico, polipropileno y poli(cloruro de vinilo) plastificado sin inserción de hilos sintéticos.

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo cabe destacar lo siguiente:

- Se ha introducido la prueba de perforación para geomembranas sintéticas a utilizar en Ingeniería Civil. Para ello se diseñó un equipo basándose en el método americano de la pirámide, con objeto de acercarse más a la realidad de los áridos del terreno que van a estar en contacto con la geomembrana sintética.

- Se presentan como resultados la carga de perforación, la resistencia a la perforación y el recorrido efectuado por el punzón antes de producirse la perforación. El primer dato indica el valor real de la muestra extraída de la geomembrana; el segundo es el valor intrínseco del material a efectos comparativos y, el tercero, el recorrido que es el que hasta el momento nos ha dado una mayor información del estado del material.
- En primer lugar se hicieron pruebas aleatorias sin tener en cuenta la cara de la geomembrana en contacto con el punzón, observándose, en algunos casos, valores bastante dispares. Este hecho nos llevó a realizar los ensayos por ambas caras, lo cual parece lógico en materiales no homogéneos o bien que lleven instalados un cierto tiempo. En un material nuevo, si lleva refuerzo, los valores obtenidos van a ser función de la naturaleza y posición de ese refuerzo en el conjunto de la geomembrana.
- Las cargas de perforación superiores correspondieron al polietileno de alta densidad y al poli(cloruro de vinilo)

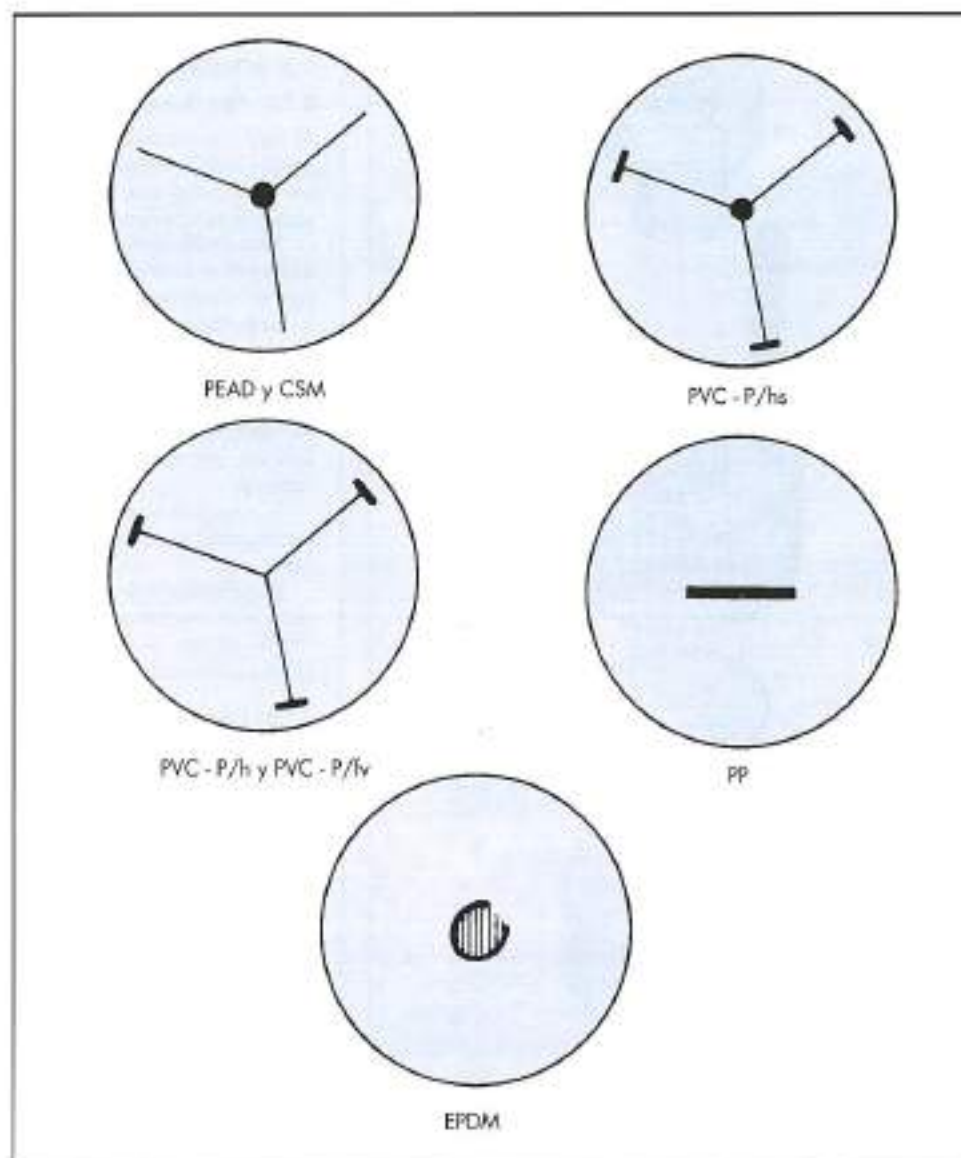


FIGURA 4. Tipos de rotura.

Material	Años instalado	Espesor original, mm	Cara de perforación	Carga de perforación, N	Resistencia a la perforación, N/mm	Recorrido antes de la perforación, mm
CSM	1	1,04	Externa	602	579	14
			Interna	297	286	12
EPDM	3	1,50	Externa	492	304	31
			Interna	545	336	36
EVA/C	3	1,17	Externa	464	397	>54*
			Interna	453	387	>52*
PEAD	3	1,54	Externa	668	434	11
			Interna	624	405	10
PP	1	0,98	Externa	228	233	34
			Interna	225	230	31
PVCp/h	1	0,84	Externa	454	540	28
			Interna	439	523	28
PVCp/lv	1	1,33	Externa	790	516	24
			Interna	759	496	24
PVCp/hs	1	1,61	Externa	691	449	13
			Interna	620	403	13

* El material se llega a perforar en las condiciones de ensayo y los valores de la carga y resistencia al perforamiento son los obtenidos para el recorrido indicado.

TABLA I. Resistencia a la perforación de materiales extraídos de geomembranas sintéticas instaladas en embalses.

plastificado con inserción de fibra de vidrio. El recorrido inferior ha tenido lugar en el polietileno de alta densidad, polietileno clorosulfonado y poli(cloruro de vinilo) plastificado reforzado con un geotextil de hilos sintéticos.

- Las formas de rotura son distintas, según la naturaleza de los materiales constituyentes de la geomembrana sintética.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren reflejar su consideración a los técnicos del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX y del Organismo Autónomo local Balsas de Tenerife (BALTEN) que han colaborado en la ejecución de este trabajo y muy especialmente a D^a Virginia Armendáriz Tallo, D^a Ascensión Martín Marcos, D^a Rosario Solera Martínez y D^a Tatiana Vara Mora. Asimismo, se quiere hacer extensivo este agradecimiento a D. Francisco Cambrónero, a la sazón en la empresa CANDEA, que sin su impulso, ayuda y constancia no hubiera podido ponerse a punto esta metodología experimental.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. UNE 104 281, parte 6-5. Materiales bituminosos y bituminosos modificados. Armaduras, láminas y placas. Métodos de ensayo. Punzonamiento estático.

2. UNE 53 358.- Plásticos. Láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado, sin soporte, no resistentes al betón, para la impermeabilización de edificios. Características y métodos de ensayo.

3. UNE 53 402.- Plásticos. Láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado, con o sin armadura, no resistentes al betón, para la impermeabilización de balsas, depósitos, piscinas, presas y canales para agua. Características y métodos de ensayo.

4. UNE 53 586.- Elastómeros. Láminas de elastómeros, sin refuerzo ni armadura, para la impermeabilización. Características y métodos de ensayo.

5. UNE 104 300.- Plásticos. Láminas de polietileno de alta densidad para la impermeabilización en obra civil. Características y métodos de ensayo.

6. ASTM D 5494-93.- Standard Test Method for the Determination of Pyramid Puncture Resistance of Unprotected and Protected Geomembranes.

7. ÖNORM S 2076.- Deponien Dichtungsbahnen aus Kunststoff Verlegung.

8. PÜHRINGER, G.- "The Pyramid Puncture Test". ASTM Symposium on Geosynthetic Testing for waste Containment Applications. Las Vegas, 1990.

9. UNE 7 054.- Determinación de la dureza en productos de acero por el método Vickers (cargas de 5 a 100 kgf).