

**OBSERVACIONES SOBRE LAS PROPIEDADES REQUERIDAS PARA EL GEOTEXTIL TEJIDO VINCULANTE PARA DE LOS REVESTIMIENTOS BetonFlex®****INTRODUCCIÓN**

La presente nota técnica tiene por finalidad aclarar algunos conceptos básicos sobre las propiedades que deben cumplir los geotextiles tejidos utilizados como vinculación de los bloques de hormigón en revestimientos de elevada flexibilidad (BetonFlex®).

En primer lugar, debe destacarse que actualmente la elección y especificación de un geosintético se realiza fundamentalmente por la metodología conocida como “diseño por función”. La misma, a partir de la determinación de las funciones principal y secundaria que el geosintético cumplirá en la obra, persigue establecer los valores mínimos que deberán alcanzar sus propiedades mecánicas e hidráulicas, a fin de asegurar el desempeño (“performance”) que se espera del mismo en dicha obra.

Estos valores se obtienen afectando el valor necesario de la propiedad para cumplir las funciones asignadas (valor funcional), por factores de mayoración conocidos como “coeficientes de seguridad”, que permiten tener en cuenta los daños y el deterioro que pueden sufrir las propiedades principales del geosintético a través del tiempo.

Estos daños o deterioros pueden producirse durante el período constructivo y/o durante el plazo de servicio asignado a la obra (“vida útil”). Dentro de ellos se pueden nombrar: daños por instalación, presencia de medios física o químicamente agresivos, deformación bajo carga constante creciente en el tiempo (fluencia o “creep”), intemperismo, vandalismo, etc.

Para el caso particular de los geotextiles tejidos de polipropileno utilizados como vinculación entre bloques de hormigón, la función principal del mismo es la de actuar como un elemento de refuerzo permeable, y las propiedades principales asociadas a dichas funciones son: resistencia a la tracción (y su alargamiento a rotura) y permeabilidad.

Dada la condición de permeabilidad del revestimiento, estos geotextiles poseen como función secundaria la de actuar como filtro de los terrenos que protegen, para lo cual deberá evaluarse su aptitud de acuerdo a las características de cada suelo. En aquellos casos que no satisfagan tal función, deberá disponerse de un elemento natural o sintético adicional, generalmente un geotextil notejido.

**RESISTENCIA MÍNIMA**

Para determinar la resistencia a la tracción del geotextil, deberá evaluarse su valor mínimo admisible de acuerdo a los esfuerzos que debe soportar en el período constructivo y durante su vida útil.

Cuando la metodología de ejecución de la obra contempla el uso de mantas de bloques premoldeados, los mayores esfuerzos corresponden a la **etapa constructiva**. Durante la fabricación, transporte, acopio, y fundamentalmente, la instalación de las mantas, el geotextil vinculante es solicitado por la carga total de los bloques. En especial cuando se recurre al empleo de grandes mantas para disminuir las uniones y solapes, o cuando el izaje de las mismas se realiza desde uno de sus bordes. Ciertas condiciones de colocación pueden aumentar estas solicitaciones, como es el caso del posicionamiento de mantas en presencia de corrientes de agua o fuertes vientos.

Si bien la cantidad de izajes que sufre la manta es limitada, es aconsejable aplicar a la suma de las cargas previstas un coeficiente de seguridad no inferior a 2. Para los elementos de izaje (eslingas, bastidor, cables.etc.) debe adoptarse un coeficiente mayor (generalmente no inferior a 5) para

contrarrestar los riesgos derivados de su uso reiterado, evitando, para evitar, por otra parte, sobredimensionar innecesariamente la resistencia del geotextil vinculante.

Cuando se deban unir mantas por cosido, previo a su izaje, para posicionarlas sobre el terreno, debe tenerse en cuenta el tipo de costura que se realiza, dado que aún realizando las recomendadas como más eficientes, puede haber hasta una pérdida del 30 % de la resistencia original del geotextil tejido.

Solo cuando la ejecución de la manta se realiza directamente hormigonando los bloques con el geotextil ya instalado sobre el terreno a revestir, los esfuerzos de la etapa constructiva se reducen a un mínimo, prevaleciendo las sollicitaciones funcionales a lo largo de la vida útil de la obra.

La segunda verificación sobre la resistencia mínima a la tracción requerida al geotextil debe considerar la vida útil de la obra. Es decir, su **comportamiento a largo plazo** y bajo las cargas y condiciones previstas por la función que debe cumplir. Para ello, deberá tenerse en cuenta el rozamiento entre la superficie del revestimiento y el terreno a proteger, (o eventualmente entre el geotextil tejido y un filtro adicional notejido, o entre éste último y el talud a proteger), así como las posibles disminuciones debido a la fluencia del geotextil y la acción del medio ambiente.

La **fluencia** consiste en la deformación creciente del geotextil bajo la acción de una carga constante en el tiempo. Sobre este tema existe información y normativas desarrolladas a partir del uso de geosintéticos en el refuerzo suelo.

La susceptibilidad a sufrir este fenómeno depende fundamentalmente de las características del polímero constituyente del geotextil, y más específicamente de su “temperatura de transición vítrea” (a partir de la cual el polímero cambia de un estado rígido y quebradizo a otro blando y maleable).

Para el caso particular del polipropileno su temperatura vítrea está comprendida entre los -20°C y -12°C, por lo que siempre suele estar por debajo de la temperatura ambiente. Por ello, el polipropileno es un material flexible y blando, que por ser muy susceptible a fluencia se le aplica un factor de reducción a su resistencia inicial, usualmente igual a 4, cuando se evalúa su resistencia a largo plazo .

A continuación se describen algunos factores propuestos por diferentes autores:

<i>FACTORES DE REDUCCION DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE GEOTEXTILES DEBIDOS A LA DEFORMACION POR FLUENCIA</i>			
<i>POLÍMERO (filamentos/cintillas)</i>	<i>Den Hoedt (1)</i>	<i>Lawson (2)</i>	<i>Koerner (3)</i>
<b>Polipropileno (*)</b>	<b>4.0</b>	<b>2.5 a 5.0</b>	<b>3.0 a 4.0</b>
Polietileno	4.0	2.5 a 5.0	3.0 a 4.0
Poliamida	2.5	1.5 a 2.5	2.0 a 2.5
Poliéster	2.0	1.5 a 2.5	2.0 a 2.5

(1) Den Hoedt G. - Creep and relaxation of Geotextiles, geomembranes under Sustained Loads - 1986.

(2) Lawson C.R. - Geosynthetics in soil Reinforcement - 1986.

(3) Koerner R.M. - "Designing with geosynthetics - 1998.

Vale aclarar que esta reducción contrarresta la pérdida de resistencia inicial del geotextil por deformación a largo plazo, de allí que no es aplicable a la etapa constructiva.

Por último, es también conveniente adoptar un factor de seguridad (generalmente no menor a 2) sobre las mayores solicitaciones de cálculo a las que pueda estar expuesto el geotextil en cualquiera de las etapas. De todos modos, dicho factor debe tener en cuenta el grado de seguridad general que el proyecto le asigna a la obra, dado que pueden existir circunstancias no debidamente previstas en el cálculo (fallas geotécnicas, inestabilidad hidráulica de la protección, etc.) que dejasen fuera de servicio a la obra, independientemente de la resistencia residual del geotextil.

## **INTEMPERISMO**

La acción del medio sobre el geotextil se refiere fundamentalmente a dos tipos de degradación: **foto y termo-oxidación**. Estos fenómenos sólo toman relevancia en el caso de prolongadas exposiciones del geotextil a la intemperie, tal el caso de los *geocontenedores* o los geotextiles vinculantes en *revestimientos*.

Tanto la foto como la termo-oxidación son procesos que contribuyen a la “degradación del polímero”, entendiéndose como tal al fenómeno por el cual en un producto expuesto a condiciones externas, (tensión, calor, luz, aire, agua, radiación o carga mecánica), comienzan a producirse reacciones químicas que derivan en cambios en su cadena polimérica (composición y peso molecular) .

En la práctica, cualquier cambio de las propiedades del polímero relacionadas con sus valores iniciales, se denomina degradación. En geosintéticos aplicados como refuerzo, convencionalmente se adopta como medida de la máxima degradación admisible, el punto en el cual la propiedad mecánica en cuestión, usualmente la resistencia a la tracción, disminuye al 50% de su valor inicial.

Cualquiera resulte el caso, termo o foto-oxidación, existen numerosos aditivos que permiten brindar al geotextil la resistencia previsible para retardar dichos procesos.

La foto-oxidación se produce fundamentalmente por la acción de la radiación U.V., mientras que la termo-oxidación, se origina esencialmente por la acción de temperaturas superiores a la de “transición vítrea” .

En ambos casos se produce un deterioro de las propiedades mecánicas del geotextil debido a la degradación de la cadena molecular del polímero constituyente.

### **1.- FOTO-OXIDACIÓN – ACCIÓN DE LOS U.V.**

Los problemas de degradación por acción de la radiación U.V. aparecen cuando los polímeros quedan expuestos fundamentalmente a la influencia de la luz solar, combinada con la temperatura y la humedad del aire y demás condiciones ambientales.

Para analizar la acción de la luz solar deben tenerse en cuenta algunos conceptos básicos de la misma:

Respecto al **espectro solar** pueden definirse tres regiones diferentes:

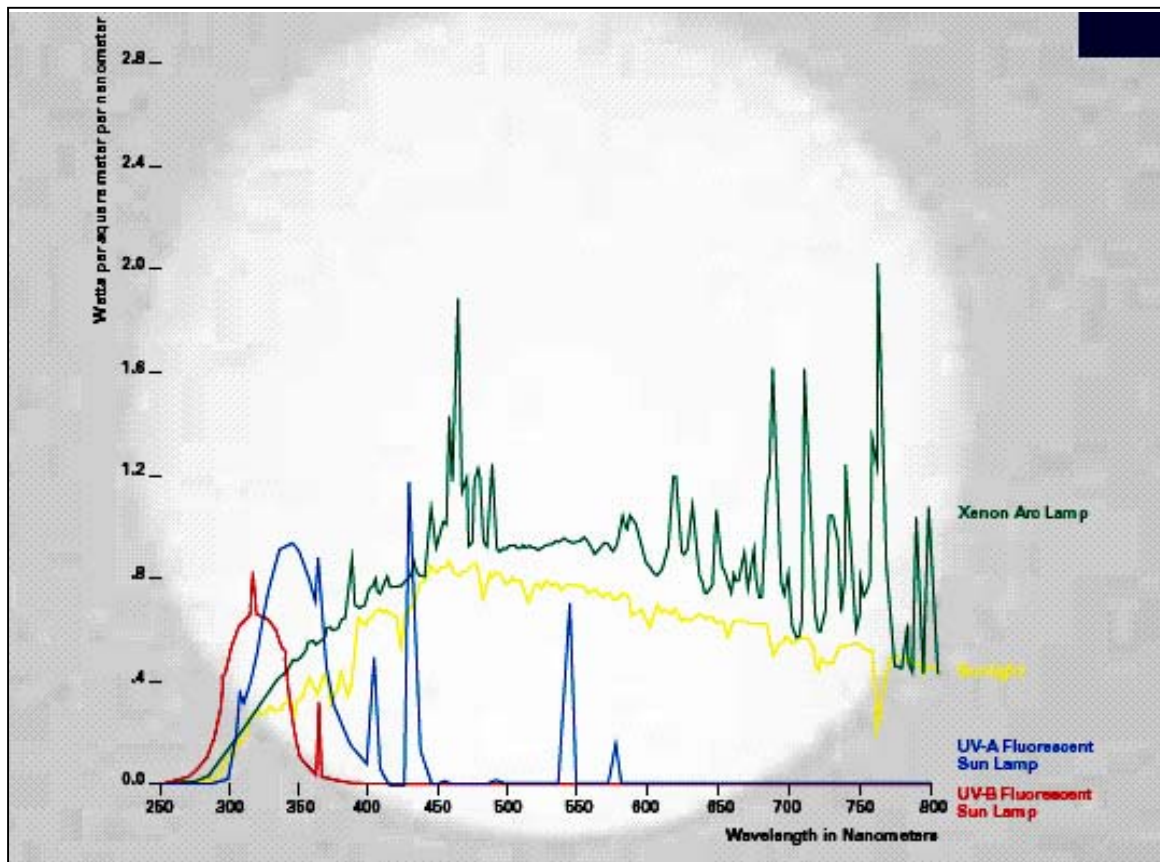
1. **Ultravioleta** : compuesta por longitudes de onda entre 200 y 399 nm
2. **Visible** : compuesta entre 400 y 700 nm.
3. **Infrarroja** : que va de 700 a 2000 nm

siendo 1 nm (nanómetro) equivalente a  $10^{-9}$  metros.

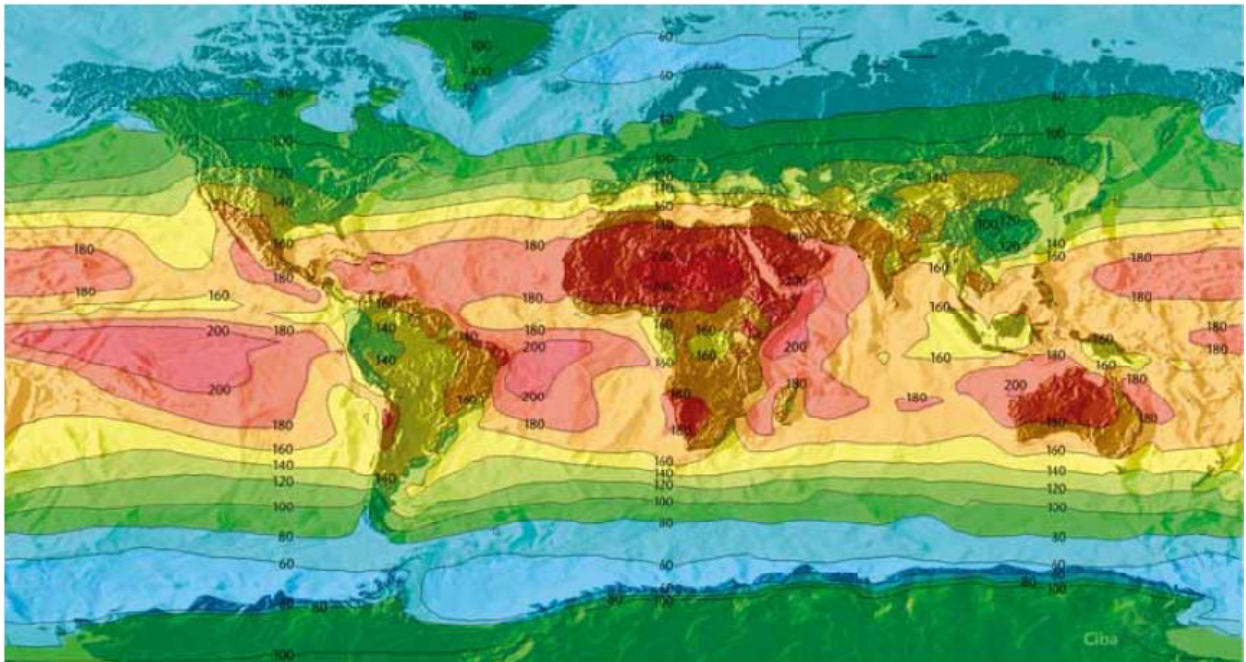
Normalmente la radiación más agresiva para los polímeros es la ultravioleta, pero la misma corresponde a un pequeño porcentaje del espectro total, 6,1 % según Gugumus (1990), de allí que en lo referente a geotextiles en particular la normativa internacional se haya inclinado por ensayos que “copien” el espectro total, tal el caso de los equipos de “arco de Xenón”.

Tal es el caso de la norma **ASTM D4355-07** “Standard Test Method for Deterioration of Geotextiles by Exposure to Light, Moisture and Heat in a Xenon Arc Type Apparatus”, la cual constituye en la actualidad la única norma específica de ensayo de deterioro acelerado de geotextiles a la luz, la humedad y el calor. Como su nombre lo indica este ensayo suma a la exposición a la radiación, ciclos de humedecimiento y calor, a fin de representar condiciones de intemperismo severo. Para más datos consultar la página web de ASTM: <http://www.astm.org>

Otros ensayos, como los realizados con aparatos QUV (producidos por Q-Panel en EEUU), se emplearon para ensayar productos industriales (como pinturas y revestimientos) a la acción de la radiación solar. Como se observa en el siguiente gráfico, sus curvas (UV-A y UV-B) son menos representativas respecto del espectro solar que la que se obtiene con un Xenon Arc (en sus versiones Weather Ometer Xenon arc type o Xenontest 1200):



Por otro lado, actualmente se cuenta con relevamientos que dan valores de radiación anual medidos en kLangley/año (siendo 1 kLangley = 1 kcal/cm<sup>2</sup> = 41,84 MJ/m<sup>2</sup>; y 1 kLangley/año = 1,33 W/m<sup>2</sup>), que sirven para evaluar la cantidad promedio de radiación que recibirá un elemento expuesto en un lugar en particular. Un ejemplo sobre este tema es el plano elaborado para la empresa de aditivos CIBA por la Surface Radiation Budget Project del Centro de Investigación Langley de la NASA:



A diferencia de otros ensayos (por ej. el QUV), el Xenon Test es el único ensayo de envejecimiento acelerado cuyos valores pueden relacionarse con los kiloLangleys, gracias a que se analizan espectros similares. Debe advertirse de todos modos, que en cualquier caso resulta incierto realizar una correlación directa entre las horas de ensayo y la radiación recibida anualmente en un lugar específico, dado que existen múltiples condiciones ambientales que pueden alterar los resultados.

Para los usos más difundidos de los **geotextiles**: separación, filtro y refuerzo, raramente el material queda expuesto por períodos prolongados a la radiación U.V., de allí que normalmente sólo se utilicen aditivos que posibiliten absorber una exposición de pocos meses. Por lo que simplemente se utilizan aditivos “absorbentes de U.V. (U.V.-absorbers)”, dentro de los cuales el más común es el conocido “negro de humo”, (“carbon black” en inglés).

Cuando se debe garantizar una larga vida útil a los geosintéticos, además de seguir utilizando el negro de humo, se emplean **aditivos específicos**. Para el caso de las poliefinas en general, y para el polipropileno en particular, los mismos pueden dividirse en la siguiente clasificación según cómo actúan:

1. Absorben la radiación U.V. (U.V.-absorbers)
2. Reducción de la tasa de iniciación de la degradación a través de la desactivación de estados excitados (energy quenchers)
3. Intervención en el proceso de foto-oxidación a través de la transformación de los hidroperóxidos formados en el proceso de degradación.
4. Captura de radicales libres, apenas éstos se forman producto de la acción de los U.V. (radical scavengers). Estos aditivos son de la misma clase que los antioxidantes.

Dentro de esta última clasificación se encuentran los llamados HALS (Hindered Amine Light Stabilizers), cuyo desarrollo permitió la aplicación sistemática de los polímeros en la industria automotriz, alimenticia, espacial y náutica.

Su evolución comenzó con el lanzamiento al mercado de los primeros HALS de bajo peso molecular, p.ej.: Tinuvin 770 y el Hostavin 1010 y TM N20, para pasar en los 80s a los de alto peso molecular,

p.ej. Chimassorb 944 y Tinuvin 944, y llegar al lanzamiento de los sistemas sinérgicos de HALS poliméricos en 1994 y 1998, p.ej.: Tinuvin 783,111 y 791 y Chimassorb 2020, 2030 y 2040.

Este tipo de productos han permitido extender el uso de las poliefinas en general a una gran cantidad de usos antes vedados a los plásticos. En el caso particular de los geotextiles tejidos, el uso de una combinación de HALS de bajo y alto peso molecular, como es el caso de los sistemas sinérgicos han mostrado una respuesta óptima. Como ventaja adicional se tiene que los HALS contribuyen a la estabilidad a la termo-oxidación del polímero, y que su extractabilidad por agua es prácticamente inexistente.

Como dato adicional se tiene que los geotextiles tejidos utilizados en la elaboración del BetonFlex®, cuentan con aditivos desarrollados por la empresa norteamericana Ciba Specialty Chemicals, cuya contribución al desarrollo de estos productos ha sido notable, pudiéndose nombrar como ítems principales: la estabilización de los polímeros utilizados en los trajes lunares (1966) y el lanzamiento de los sistemas sinérgicos HALS en 1994 y 1998. Para más datos consultar <http://www.ciba.com>.

Para el caso particular de los geotextiles tejidos vinculantes de los revestimientos tipo BetonFlex®, aparecen condiciones ambientales y funcionales que actúan como **limitantes de la acción de los U.V.** :

1. La acción de cobertura (“sheltering”) de los bloques que impide la acción directa de la radiación solar sobre el geotextil .
2. La existencia de pedregullo u hormigón poroso en las juntas, que cubren la superficie del geotextil no revestida por los bloques
3. La deposición de polvo o crecimiento de vegetación, que impiden la llegada directa de la radiación U.V.
4. La presencia de algas en la zona de “splash” que actúa como una protección natural muy efectiva.
5. En la zona sumergida, la filtración natural de la radiación que produce el agua.

## **2.- TERMO-OXIDACIÓN**

Los materiales poliméricos, naturales o sintéticos, sufren reacciones con el oxígeno (Gugumus 1990a). Los polímeros pueden sufrir oxidación en diversas etapas de su vida, desde su polimerización y procesamiento, en los cuales la oxidación está asociada a la exposición a altas temperaturas, hasta su aplicación final. La resistencia relativa de los polímeros a la oxidación es función principalmente de su estructura química, es decir de las conexiones existentes entre los átomos constituyentes de la cadena polimérica.

El polipropileno es particularmente sensible a la temperatura dado que su “transición vítrea” se produce a partir de los -20°C /-12°C. Ya para su procesamiento, que se realiza dentro del rango de 220°C a 280°C, requiere la incorporación de aditivos antioxidantes. Los más usuales son los siguientes:

1. Estabilizantes de proceso: Usualmente se trata de los denominados “Sterically hinderen phenols” del tipo (Ionox, Topanol OC, etc.), fosfonitos (Sandostabe PEPQ) o fosfitos (Weston 618, TNP, Irgafos 168, etc.).
2. Asimismo pueden utilizarse los llamados “antioxidantes fenólicos primarios para el proceso y estabilización a largo plazo”, tal el caso de los Irganox, Topanol CA, y Hostanox
3. Finalmente en la actualidad se añaden aditivos tipo HALS poliméricos de alto peso molecular (p.ej. Chimassorb 944 y Tinuvin 944) o sistemas sinérgicos del mismo tipo (p.ej.: Tinuvin 783,111 y 791 y Chimassorb 2020, 2030 y 2040).

Estos aditivos deben además mantener su acción durante la vida útil del geotextil. Para el caso particular de su empleo en obras hidráulicas, es esencial que los antioxidantes no sufran **migración en agua (lixiviación)**. Originalmente, con los antioxidantes fenólicos y los HALS de bajo peso molecular se requería la utilización de aditivos adicionales tipo anti-migrantes (“anti-leach”). En la actualidad la utilización de este tipo de aditivos (p. ej. PLZ producido por Shell), ha quedado mayormente en desuso debido a la utilización de los aditivos HALS poliméricos de alto peso molecular, cuya migración en agua es prácticamente inexistente. Lo anterior queda refrendado, por ejemplo, por la aprobación de su uso en el envasado de productos alimenticios.

Actualmente la evaluación de la estabilidad a la termo-oxidación de los geosintéticos se puede realizar a través de la ASTM D3012-00 “Standard Test Method for Thermal-Oxidative Stability of Polypropylene Plastics using a Specimen Rotator within an Oven”, y la ASTM D 5885-97 “Standard Test Method for Oxidative Induction Time of Polyolefin Geosynthetics by High-Pressure Differential Scanning Calorimetry”.

También existen otras normativas que contemplan el problema de la oxidación específicamente para tejidos de polipropileno en aplicaciones hidráulicas, como es el caso de la norma holandesa NEN 5132 publicada en 1992. Para más datos consultar <http://www2.nen.nl>

#### FUENTES CONSULTADAS

1. “Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering” – Van Santvoort – 1994.
2. “Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering” – K.W. Pilarczyk – 2000
3. “Durabilidade dos Polímeros” – Castro Motta, Silkunas y Antonio Rodolfo Júnior – Univ. de San Pablo – 2002
4. “Impact of Stabilization Additives on the Controlled Degradation of Polypropilene” – Urs Stadler – Ciba Specialty Chemical Corp. – Polyolefins 2001.
5. “Light Stabilizers for Polyolefins” Ciba Additives – 2003
6. “Introduction to Polymer Stabilization” – R. E. King III – America Chemical Society Meeting – 2001
7. “Plastic Additives Handbook” – F. Gugumus – 1990.
8. “Plastic Additives Handbook” – Lorenz – 1990.
9. “Polymer Degradation and Stability” – Rutkowska, Krasowska, Heimowska, Steinka y Janik, 2002.
10. “Design with Geosynthetics” – R. Koerner – 1998.
11. “Geotextiles and Geomembranes” – Ingold – 1994
12. “Dikes and Revetments” – K. W. Pilarczyk – 1998
13. Catálogo: ASTM y NEN.

Oficina Técnica  
Noviembre 2009