

ENSAYOS DE FILMS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD PARA INVERNADEROS EXPUESTOS A ALTAS DOSIS DE RADIACIÓN UV¹

Tilca, F.; Cadena², C.; INENCO, Instituto UNSa-CONICET
Vicente, M.; INIQUI, Instituto UNSa-CONICET

Av. Bolivia 5150, 4400, Salta. Argentina. Fax: ++54-387-4255448, email: tilcaf@unsa.edu.ar

RESUMEN

Se han ensayado films de polietileno del tipo utilizado como cubierta de invernaderos. Dichos ensayos consisten en someterlos a radiación UV-C en la cámara de ensayos construida a tal fin ya descrita en un trabajo anterior (Cadena et al, 2000). Posteriormente se le realizan distintos tipos de medición de la variación de sus propiedades entre las que se cuentan la transmitancia espectral y la resistencia mecánica a la tracción. Se obtiene una relación que proporciona la disminución de la resistencia a rotura del material debido a la exposición a irradiación UV, en función del tiempo de irradiación. Se obtuvo también información sobre la variación de la transmitancia debido a la radiación UV.

PALABRAS CLAVE: Cámara de ensayos, ultravioleta, degradación de polietileno.

1. INTRODUCCIÓN.

Films de polietileno, muy utilizados en cubiertas de invernaderos, expuestos a la radiación solar sufren degradación de sus propiedades y al cabo de unos tres años (Corvalán et al, 1992) se encuentran totalmente degradados. La velocidad de la degradación depende principalmente de la irradiación ultravioleta a la que están expuesto, y en otra medida de la temperatura que alcanza el material. En este trabajo el material analizado es un film de polietileno de 150 micrones de espesor, con tratamiento antiUV conocido comercialmente como plástico para invernaderos. Este material se coloca en la Cámara de Ensayos TUV [1] donde se degrada en forma acelerada, al estar expuesto a radiación UV-C de longitud de onda 253.7 nm relativamente alta (40 W/m²), además de una pequeña cantidad de UV-B (1 W/m²).

Al material así degradado se le mide la transmitancia, luego se le realizan ensayos como el de la determinación de la variación de sus propiedades mecánicas, que se basa en un ensayo carga – deformación (norma IRAM 13316), a partir de cuyos resultados se obtiene una primera relación que brinda la disminución de la resistencia del material en función del tiempo de irradiación en la cámara. Esto puede relacionarse con la que experimentaría el material a la intemperie (si se consideran solo los daños debidos a la radiación UV), en este caso en dos localizaciones: la ciudad de Salta y la Puna de esta provincia, que es de donde se tienen datos de radiación UV. La radiación UV-B en el plano donde se coloca la muestra fue medida a efectos de verificar la uniformidad, mostrándose el resultado en la Figura 1.

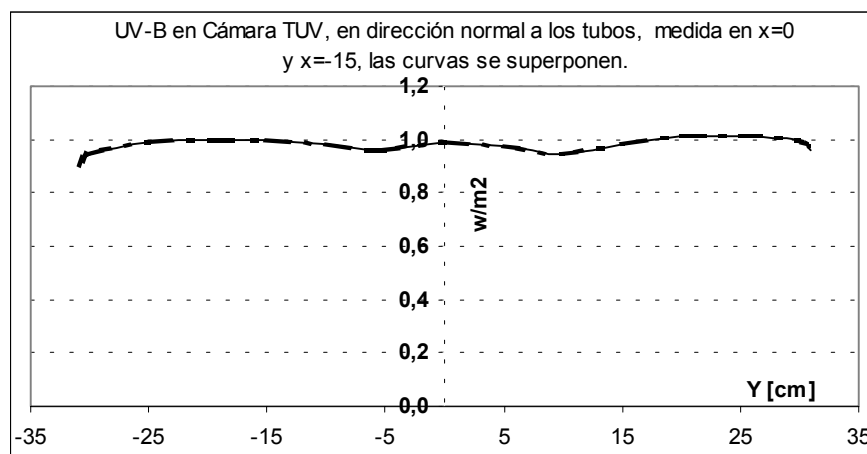


Figura 1: radiación UV-B en cámara, en el plano de muestras, a 30 cm de los tubos. La dirección Y es perpendicular a los tubos.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y RESULTADOS.

¹ Parcialmente financiado por CIUNSa

² P. Principal CONICET

Se realizaron mediciones de transmitancia global y espectral, y la disminución de la resistencia a la tracción del material.

2.1: TRANSMITANCIA

Transmitancia Global: se realizaron tomando como fuente al sol, siempre alrededor del mediodía solar, con ángulo cenital solar menor de 15°; el instrumento medidor es un solarímetro que mide entre los 300 y 3000 nm; se utiliza un tubo de plástico, negro en su interior y blanco en su exterior, de 10 cm de diámetro y también 10 cm de alto, que se coloca en la parte superior de la cúpula del sensor del solarímetro, y arriba del tubo se coloca el polietileno; de esta manera se asegura condiciones similares en las mediciones. Se mide la radiación con el polietileno colocado y sin él, y el cociente es la transmitancia. Los resultados se presentan en la Tabla 1:

Tiempo de irradiación en cámara [días]	Transmitancia
Nuevo, sin irradiar.	0.725
11	0.720
37	0.720 – 0.723

Tabla 1. Transmitancia global del polietileno.

Transmitancia Espectral: la irradiancia espectral se midió con un espectrorradiómetro: la solar y la solar a través del polietileno nuevo y del polietileno irradiado 50 días en la cámara TUV. En la Figura 2 se muestra la transmitancia del polietileno nuevo y del polietileno irradiado durante 51 días en la cámara TUV. Es conveniente aclarar que el polietileno irradiado 51 días en la cámara ya se encuentra totalmente degradado, con rajaduras observables a simple vista.

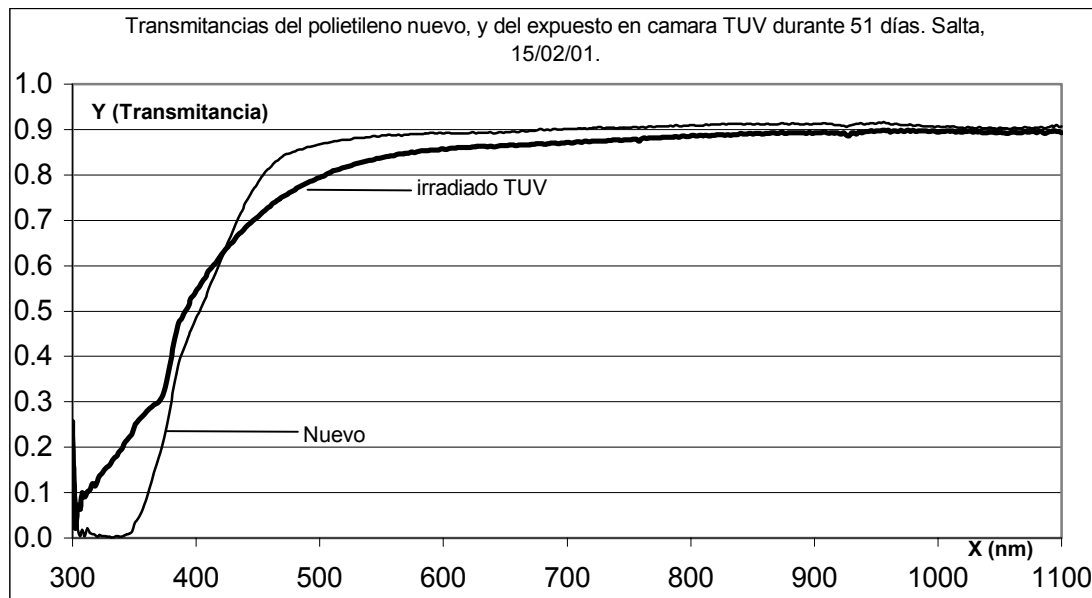


Figura 2: transmitancia espectral de polietileno nuevo e irradiado 51 días en cámara TUV.

2.2: ENSAYOS CARGA – DEFORMACIÓN DEL POLIETILENO.

El daño principal que sufre el polietileno debido a foto degradación ocurre en las propiedades mecánicas. Los gráficos que muestra la Figura 3 fueron realizados, en el marco de colaboración con el grupo de polímeros del INTEMA de la Universidad Nacional de Mar Del Plata, sobre muestras que fueron irradiadas en la cámara TUV, una muestra sometida a radiación solar durante 3.5 meses en La Puna y una muestra sin irradiar.

De los gráficos de la Figura 3 se obtiene que las cargas a rotura (N) del polietileno sin irradiar, y de los irradiados 5 y 10 días en la cámara TUV son respectivamente de 27.4 N, 22 N y 15.7 N. N_0 es la carga de rotura de la muestra sin irradiar. Asumiendo que la resistencia R (o estado de conservación) de la muestra sin irradiar es del 100%, se obtienen los valores de la Tabla 2 siguiente, los que se llevan a un gráfico, Resistencia en función del tiempo de irradiación, que se muestra en la Figura 4, en la que se hizo el ajuste de la curva correspondiente. La Resistencia a rotura se calcula con la expresión: $R(\%) = (N/N_0) * 100$, en la que N_0 es la carga aplicada al polietileno sin irradiar.

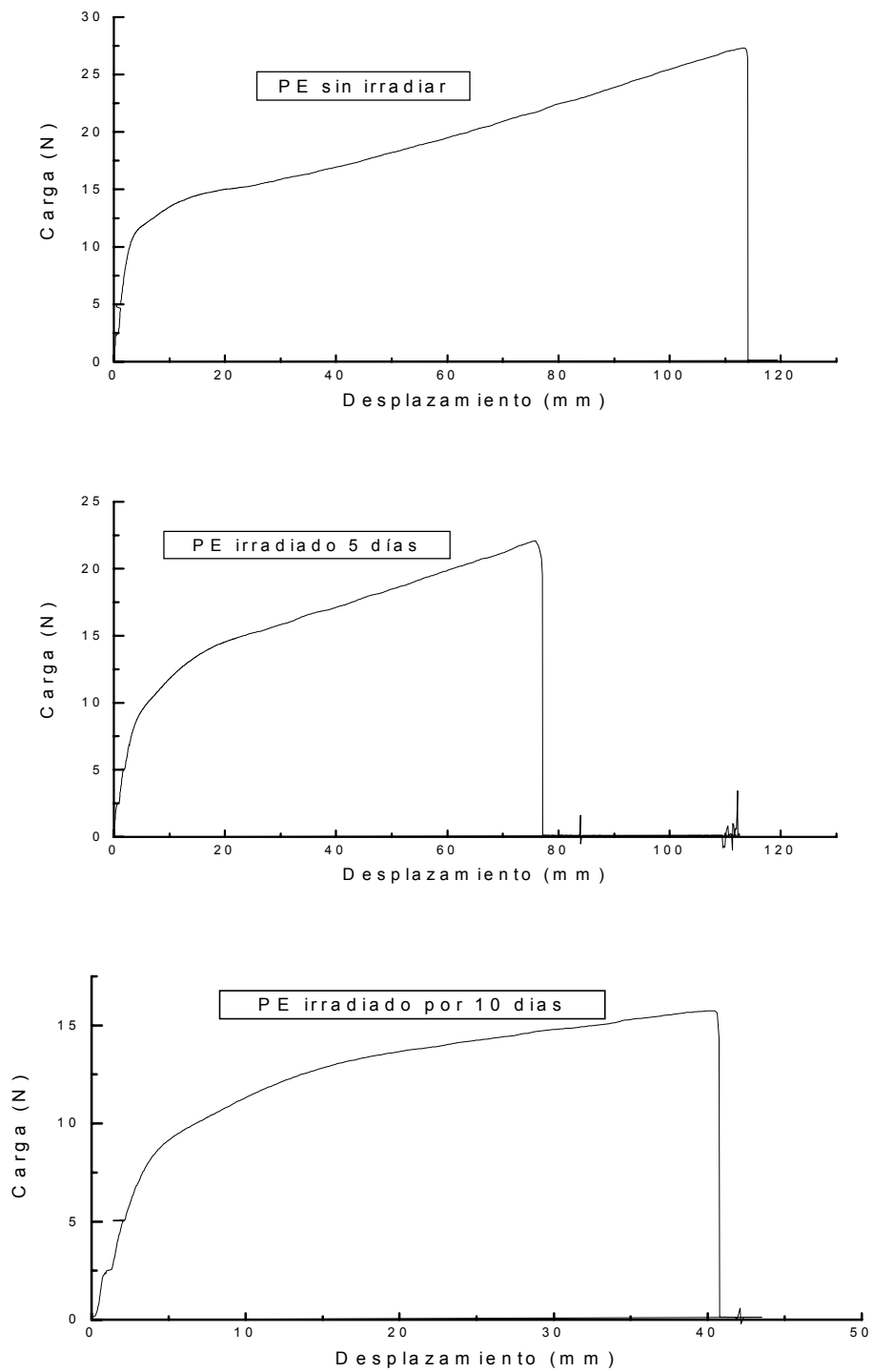


Figura 3: Gráficos carga – deformación del polietileno irradiado 10 y 5 días en cámara TUV, y sin irradiar. Puede observarse que la carga de rotura del material es cada vez menor a medida que aumenta el tiempo de irradiación.

Irradiación [Días]	% Deformación ($\Delta L/L$)*100	Carga rotura [N]	Resistencia a rotura R(%)=(N/N ₀)*100
0	383	24.4	100.0
2	211.6	23.9	87.2
5	257	22	80.3
10	140	15.7	57.3
16	88.5	13.1	47.7

Tabla 2: deformación, carga de rotura y resistencia del polietileno en función del tiempo de irradiación.

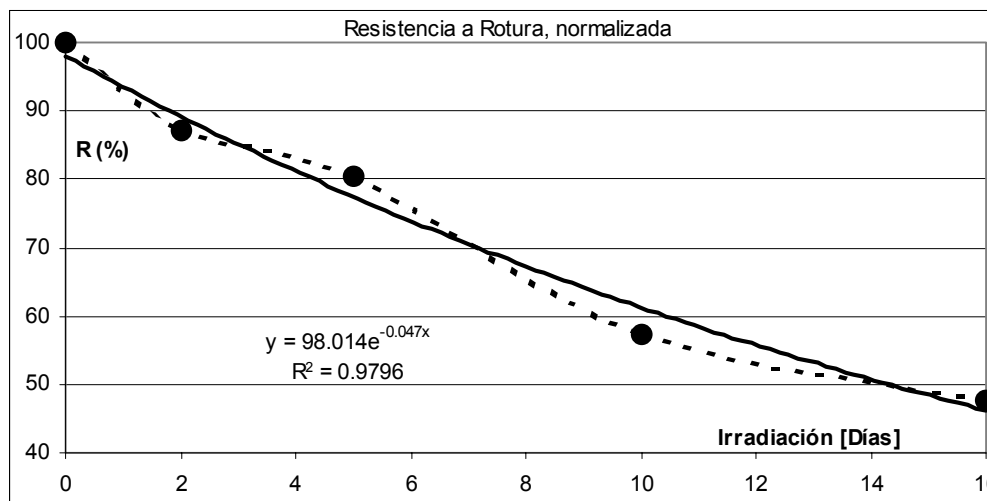


Figura 4: Resistencia del polietileno en función del tiempo de exposición en la cámara TUV.

La ecuación que mejor ajusta con los datos experimentales es la exponencial decreciente, en la que el tiempo en cámara “tc” debe incluirse en días:

$$R(\%) = 98.014 * e^{-0.047 * tc}$$

Esta expresión indica la disminución de la resistencia o estado de conservación del polietileno (o el aumento de su estado de degradación) a medida que aumenta el tiempo de exposición del material en la cámara de ensayos.

2.3: CONSIDERACIONES DE ENERGÍA Y EQUIVALENCIA ENTRE LA CÁMARA E INTEMPERIE.

En la Tabla 3 se indican los valores obtenidos (Tilca, 2001):

	Fración de UV-A [KJ/m ² día]	UV-B [KJ/m ² día]	UV-C [KJ/m ² día]	Total [KJ/m ² día]
Cámara TUV [40 W/m ²]	Despreciable	86.4	3456	3542.4
Ciudad de Salta	7.5	48	0	55.5
La Puna	12.5	70.7	0	83.2

Tabla 3: energía debido a radiación en la cámara, en la ciudad de Salta y en La Puna.

Relacionando los valores de la cámara y de la Ciudad de Salta: $3542.4/55.5 = 64$, es decir que: la degradación de un día en la cámara equivale a 64 días a la intemperie en Salta, o un mes en cámara a 5 años a intemperie.

En el mismo sentido, entre la cámara y La Puna: $3542.4/83.2 = 42.6$, entonces: la degradación de un día en la cámara equivale a 42.6 días a la intemperie en La Puna, o un mes en cámara a 3.5 años a la intemperie.

Cabe recordar que estos resultados se obtienen (a) suponiendo una radiación de 40 W/m² en el plano de muestras de la cámara (calculada, pero no medida); (b) con una temperatura (36 a 38 C) y Humedad Relativa (siempre por debajo del 40%) casi constantes en la cámara, sin saltos térmicos ni vientos; éste puede acortar la vida útil al producir el rompimiento del film por fatiga. Al efectuarse ensayos de otras propiedades del material, se obtiene que la degradación por radiación de dos días en la cámara es similar a 104 días en La Puna a intemperie, o un día en la cámara a 52 en La Puna.

3. CONCLUSIONES.

Se está tratando de encontrar, en el marco del Proyecto de Investigación en el que se desarrolla este trabajo, la relación entre degradación y dosis de UV; la degradación muy probablemente sea una función de tres parámetros: UV, temperatura, otros factores, de los cuales el más importante es la radiación UV. En este trabajo se ha estudiado el daño debido a UV-C (de la cámara de ensayos) en la longitud de onda de 253.7 nm (más un pequeño contenido en UV-B: 1 W/m²), y en algunos de los

ensayos se relaciona el daño de UV-C con el debido a UV-B y UV-A. Los ensayos en la cámara se realizaron en el rango de temperaturas comprendido entre 36 y 38 C.

TRANSMITANCIA:

En la Figura 2 se observa que la transmitancia:

- en la región del UV es mayor en el polietileno irradiado que en el nuevo;
- en la región del visible es mayor en el nuevo que en el irradiado;
- en la región del infrarrojo cercano es prácticamente la misma para ambos.

El hecho que en la región del UV la transmitancia sea mayor en el polietileno irradiado que en el nuevo puede tener su explicación en que el polietileno ya degradado tiene menor capacidad de absorber radiación UV precisamente en virtud de su degradación (Andrady, 1997) la que también produce una apenas perceptible decoloración, explica que la transmitancia sea levemente menor en el visible. Aparentemente esta degradación no afecta a la transmitancia en el infrarrojo. Estos efectos en las distintas regiones del espectro, se compensan y producen el resultado respecto a la radiación global que se muestra en la Tabla 1; la transmitancia global del material disminuye apenas levemente debido a la degradación por exposición a radiación en la cámara TUV. Es probable que lo mismo ocurra ante la exposición al sol a la intemperie, y cuando hay disminución de transmitancia se deba al polvo que se adhiere al polietileno o a otros factores.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

La degradación de las propiedades mecánicas de films de polietileno inducidas por la radiación UV-C en la cámara de ensayos, provoca la disminución de la resistencia a la tracción del material -debido a la rotura de cadenas del polímero y formación de especies carbonilos y vinilos- y en su agrietamiento cuando se lo expone a un tiempo relativamente prolongado en la cámara, esto es, unos 40 días (142 MJ, suponiendo como se dijo 40 W/m² de radiación UV-C y la radiación UV-B medida de 1 W/m², en el plano de muestras de la cámara), cuando el film pierde su elasticidad tornándose cada vez más rígido. Films expuestos a la radiación solar a intemperie sufre también disminución de su resistencia a la tracción, rompiéndose por fatiga al cabo de unos pocos años. Ambos tipos de degradación son similares y por lo tanto pueden ser comparados.

Esto se hizo en el trabajo, resultando que la exposición del material de un día en la cámara (T= 36 a 38 C) provoca degradación similar a la de unos 50 días a la intemperie a la radiación solar de La Puna, asumiendo que el estrés térmico provocado por los ΔT máximos diarios de 36 C no influyen en la degradación.

Por otra parte, si la resistencia R (o estado de conservación) de la muestra sin irradiar es del 100%, ésta disminuye a medida que se va degradando debido a la irradiación ultravioleta en la cámara de ensayos. La ecuación que da el estado de conservación de la muestra a medida que aumenta el tiempo de exposición del material en la cámara de ensayos es la exponencial decreciente:

$$R(\%) = 98.014 * e^{-0.047 * tc}$$

En esta ecuación el tiempo "tc" debe incluirse en días, para obtener el estado de conservación del material debido a la exposición en la cámara TUV. Para averiguar cual es el tiempo en el que el material alcanzará similar degradación por exposición a intemperie en, por ejemplo:

- La Puna, se debe multiplicar "tc" por 50.
- Ciudad de Salta, multiplicar "tc" por 64.

Estos valores (50 y 64) se obtienen de la radiación UV-B, y la fracción de UV-A que producen la degradación, medida en los lugares indicados (La Puna y Salta). Para hacer extensiva esta última ecuación a otros lugares, se debe medir la radiación como se indica en la Tabla 3, luego hacer la relación 3542.4/(rad. medida), siendo entonces éste el factor por el que se debe multiplicar "tc" para el lugar escogido.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Cadena, F. Tilca, M. Vicente. *Diseño de una cámara de ensayos de radiación ultravioleta*. Revista de la ASADES (Asociación Argentina de Energía Solar), Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol.4, N°2, 2000, (pag. 08.59-08.64). ISSN 0329-5184.
- [2] R. Corvalan, M. Horn, R. Roman, L. Saravia. Ingeniería del secado solar. CYTED-D, Sub-programa VI.
- [3] Andrady, A. L., 1997. *Wavelength sensitivity in polymer photodegradation*. Advances in Pol. Sci. 128, 49.
- [4] F. Tilca, Tesis de Maestría en Energías Renovables, INENCO, Facultad de Ciencias Exactas, UNSa.

AGRADECIMIENTOS: Al grupo de polímeros del INTEMA, Universidad Nacional de Mar Del Plata, por los ensayos realizados y presentados en la Figura 3.

ABSTRACT: Polyethylene films have been rehearsed of the type used as covered with hothouses. These already consist on subjecting them to radiation UV-C in the built camera of rehearsals to such an end showed in a previous work [1]. Later on, they are carried out different types of mensuration of the variation of their properties among those that the ghastly transmitancia and the mechanical resistance are counted to the traction. A relationship is obtained that provides the decrease from the resistance to break of the material due to the exhibition to irradiation UV, in function of the time of irradiation. It was also obtained information on the variation of the transmitancia due to the radiation UV.