

INFLUENCIA DE LOS FACTORES CLIMATICOS EN LA DURACION DE LOS MATERIALES PLASTICOS USADOS EN LA INTEMPERIE

Dra. Lucía La Menza

Laboratorio Degradación de Polímeros - Centro de Investigaciones Tecnológicas para la Industria Plástica (CITIP) - Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar el comportamiento en distintos climas de materiales plásticos de difundido uso en la intemperie como son las películas de polietileno de baja densidad (PEBD) natural para coberturas de invernáculos, y las redes tejidas con filamentos de polietileno de alta densidad (PEAD) pigmentado de negro, utilizadas en la protección de los viñedos contra la caída del granizo.

Ambos tipos de materiales se expusieron a la intemperie en las estaciones de exposición natural de CITEFA, localizadas en:

- Villa Martelli (Buenos Aires): clima industrial
- San Juan (San Juan): clima de alta radiación
- Camet (Buenos Aires): clima marino
- Puerto Iguazú (Misiones): clima subtropical

y las redes, en particular, se expusieron también en las estaciones del INTA localizadas en:

- Castelar (Buenos Aires)
- Rama Caída (Mendoza)

La evaluación de los materiales expuestos, efectuada en el CITIP de acuerdo con un programa de toma de muestras preestablecido, se realizó a través de la medición del porcentaje de retención de una propiedad mecánica (alargamiento de la rotura) y por el valor de una propiedad físico-química (índice de carbonilo). En el caso de las redes se agregó un ensayo de simulación de impacto por granizo.

Con el objeto de acelerar los ensayos, las muestras se expusieron en equipos de laboratorio de envejecimiento artificial como Xenotest, Weather-Ometer y Cámara con luz ultravioleta. Se estableció que: a) los climas más agresivos para las películas de polietileno natural sin aditivo son los de San Juan y R. Caída, b) La radiación solar es la variable más importante en la degradación de los materiales plásticos, c) Se calcularon los factores de correlación entre ensayos a la intemperie y ensayos acelerados de laboratorio, lo cual permite realizar predicciones sobre la duración del material en su uso.

1. OBJETO

Determinación del comportamiento a la intemperie de dos tipos de materiales plásticos expuestos en zonas de climas bien diferenciados.

Materiales ensayados

- Película de polietileno de baja densidad (PEBD) natural, del tipo de las usadas para coberturas de invernáculos. Con el fin de acelerar los ensayos se expuso película sin aditivos protectores contra las radiaciones ultravioletas.
- Redes tejidas con filamentos de polietileno de alta densidad (PEAD) pigmentado de negro, protector contra las radiaciones ultravioletas, utilizadas para cubrir los viñedos contra la caída del granizo.

2. DESARROLLO

Las películas y los filamentos extraídos de las redes se expusieron en las estaciones de exposición de CITEFA ubicadas en:

Villa Martelli: clima industrial, latitud 34° 36' S, longitud 58° 29' O, altura 25 m sobre nivel del mar.

San Juan: clima de alta radiación, latitud 31° 36' S, longitud 68° 33' O, altura 630 m sobre el nivel del mar.

Parque Camet: clima marino, latitud 37° 56' S, longitud 57° 35' O, altura 7 m sobre el nivel del mar.

Puerto Iguazú: clima subtropical, latitud 25° 44' S, longitud 54° 24' O, altura 278 m sobre el nivel del mar.

y del INTA en:

Castelar: templado, con régimen hídrico sub-húmedo y húmedo, latitud 34° 36' S, longitud 58° 40' O, altura 22 m sobre el nivel del mar.

Rama Caída: de alta radiación, latitud 38° 40' S, longitud 68° 23' O, altura 692 m sobre el nivel del mar.

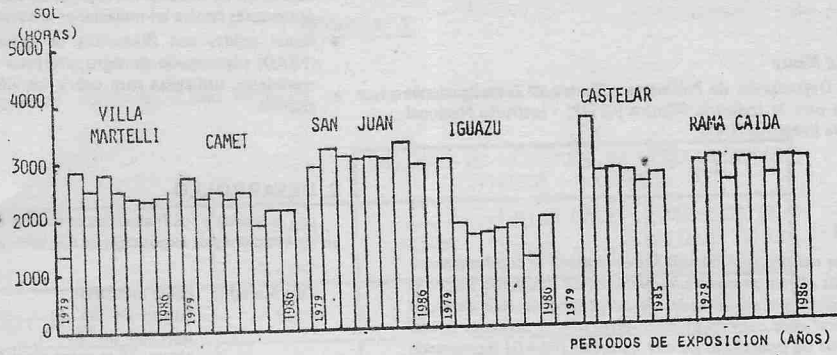
Las redes tal cual se expusieron en las estaciones del INTA, ya que el trabajo se realizó dentro del Convenio INTI - INTA, en Castelar y en Rama Caída (San Rafael, Mendoza); en esta última se encuentran cubriendo los viñedos tal cual se utilizan en la práctica. También las películas se expusieron en estas dos estaciones.

En la tabla N° 1 se muestran las temperaturas y humedad registradas en ellas, y en los gráficos la distribución anual de las restantes variables climáticas en el período comprendido entre 1979 - 1986.

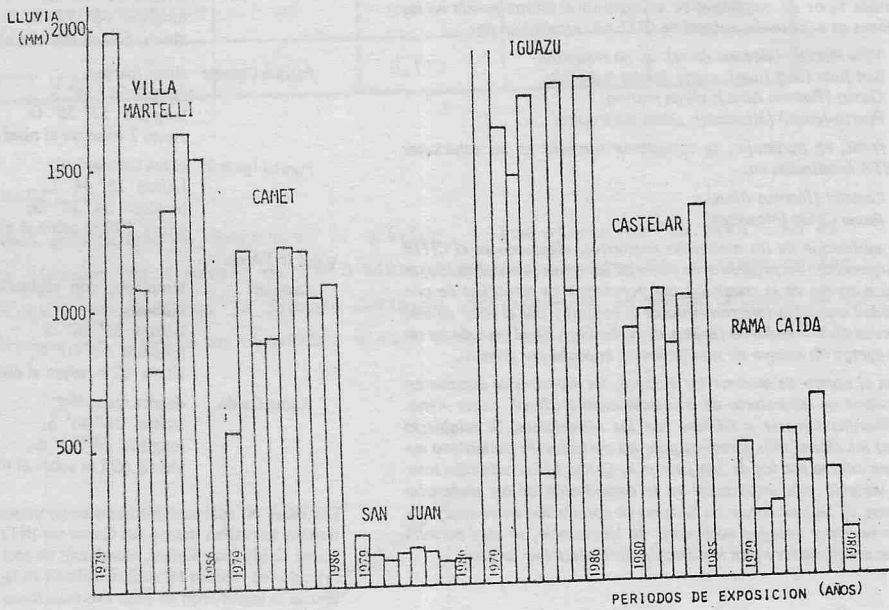
TABLA N° 1

ESTACION	VILLA MARTELLI	CAMET	SAN JUAN	IGUAZU	CASTELAR	RAMA CAIDA
Temperatura máx. (°C)	39	38	44	40	40	32
mín (°C)	-8	-6	-7	0	-4	-2
Humedad relativa (%)	63	75	55	74	68	62

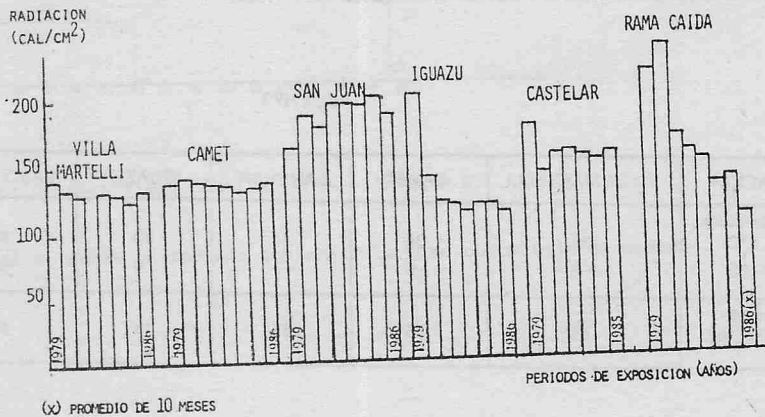
TOTALES ANUALES DE HORAS DE SOL (1979 - 1986)



TOTALES ANUALES DE LLUVIAS (1979 - 1986)



TOTALES ANUALES DE RADIACION TOTAL (1979-1986)



Todas las muestras se colocaron siguiendo los lineamientos de la norma ISO 4607 "Methods of exposure to natural weathering" [1] que establece fijarlas en los marcos de materiales inertes como madera, aleaciones de aluminio no corrosivas, orientados hacia el Norte bajo determinado ángulo de exposición (45° respecto de la horizontal), sujetas por sus bordes y no apoyadas sobre superficies planas, lo que causaría una mayor temperatura en la superficie de las mismas llegando a producir una degradación térmica.

Las redes por disposición de los cultivos están expuestas orientadas de Este a Oeste.

Se estableció un programa de retiro de muestras, cada tres y luego seis meses para las redes, y mensual para las películas.

Dado que los ensayos de exposición natural a la intemperie son sumamente largos, hay redes que están expuestas desde hace ocho años, se realizaron también ensayos acelerados de exposición artificial en equipos de laboratorio tales como Xenotest 450, Weather-Ometer y Cámara con radiación ultravioleta [6] [8].

El Xenotest 450 reemplaza la radiación ultravioleta del espectro solar por la radiación ultravioleta de un quemador de Xenón de 4.500 W, cuyo espectro es el más similar al de la luz solar.

El Weather-Ometer está equipado con lámpara de arco de carbón encerrada en globo de vidrio resistente a la temperatura.

Ambos equipos están dotados de un sistema de rocío sobre las muestras que se colocan en tambor rotatorio.

Los ciclos de trabajo están fijados en la norma ISO/DIS 4892 "Methods of exposure to laboratory sources" [1].

La Cámara de luz ultravioleta consta de dos tubos fluorescentes del tipo G 30 T 8 de General Electric, con un máximo de emisión en 253,7 nm. No tiene sistema de rocío.

3. EVALUACION

La evaluación del material ensayado se efectúa, en general, por la medición de alguna propiedad representativa de las características que debe tener el material después de su exposición y en función del uso al que se lo destinará, expresándose su resistencia a la exposición a la intemperie por el porcentaje de retención de la propiedad medida.

En este caso se midió el alargamiento de rotura en el equipo Instron modelo 1125 del laboratorio físico del CITIP; también se midió el índice de carbonilo por espectrofotometría en el infrarrojo usándose el equipo Beckman 4260 existente en el Departamento de Química del INTI [7].

Ambas determinaciones se eligieron por considerarse el alargamiento a la rotura como la variable más representativa para el seguimiento del comportamiento del material a las distintas exposiciones y al índice de carbonilo por haberse comprobado que la presencia de grupos carbonilos en los polietilenos son indicios de una degradación por foto-oxidación.

En el caso de las redes en prueba de uso en Rama Caída se incorporó otro ensayo, el de simulación de impacto por granizo, con el objeto de llegar a determinar la energía cinética mínima, capaz de causar un deterioro en la red [2] [3] [4] [5].

4. RESULTADOS

4.1. EXPOSICION NATURAL

4.1.1. Película de polietileno (PEBD)

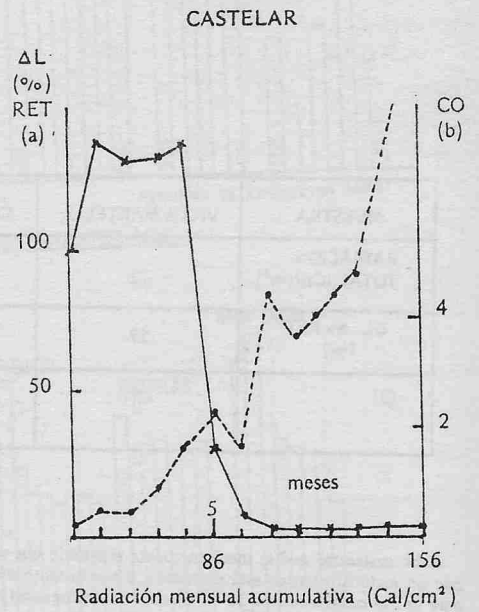
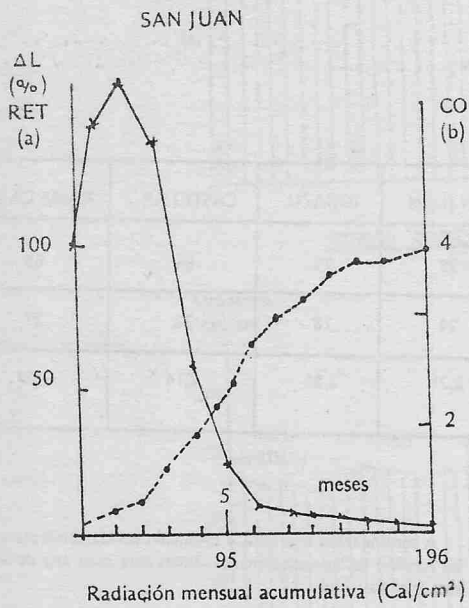
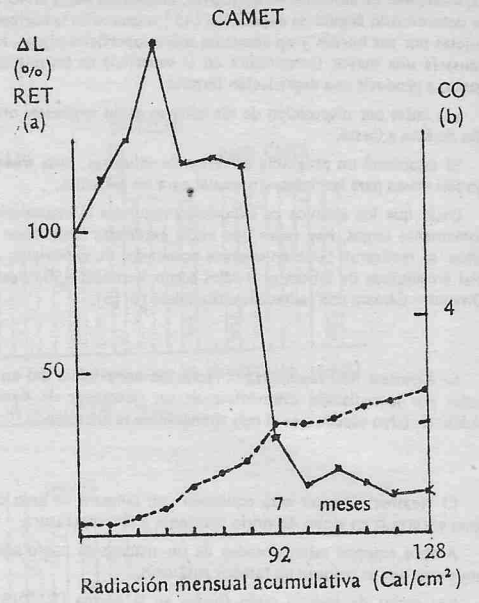
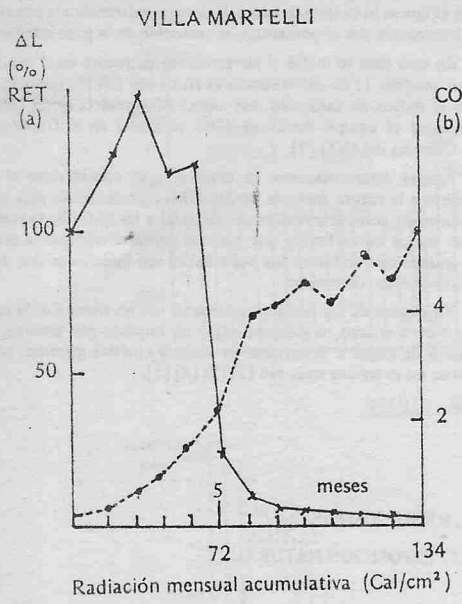
Se detallan a continuación los valores de la radiación total y el índice de carbonilo de las muestras que al ser ensayadas (la frecuencia de extracción fue de un mes) habían experimentado una pérdida mayor del 50% en su porcentaje de alargamiento a la rotura (ΔL):

TABLA Nº 2

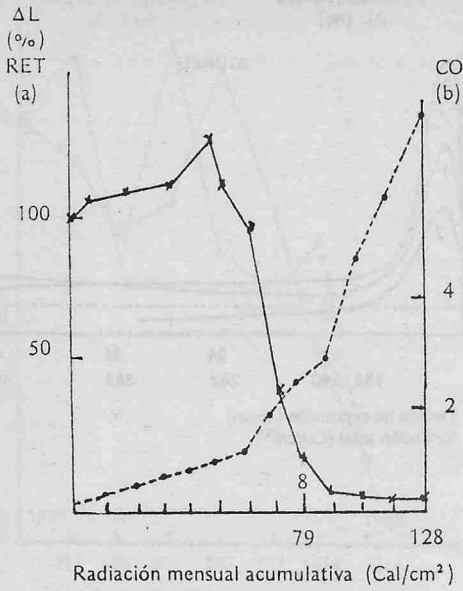
MUESTRA	VILLA MARTELLI	CAMET	SAN JUAN	IGUAZU	CASTELAR	RAMA CAIDA
RADIACION TOTAL (Cal/cm ²)	72	92	95	79	86	65
ΔL % RET (%)	27	36	24	18	32	27
CO	2,17	1,98	2,21	2,55	2,14	1,51

Cabe destacarse que se tomó en cuenta el criterio que considera que un material plástico está degradado, y por lo tanto no es apto para su uso cuando retiene 50% o menos de la propiedad mecánica ensayada y el valor del índice de carbonilo alcanza a 2 o más (por tratarse de un valor fijado por la experiencia no se establecen tolerancias para el mismo).

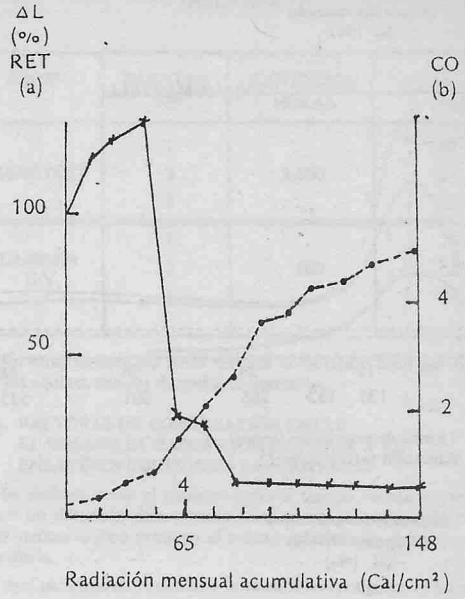
A continuación se grafica la evolución del alargamiento a la rotura en función de las radiaciones recibidas para cada una de las estaciones de exposición.



IGUAZU



RAMA CAIDA



(a) ——— ΔL (% RET): Alargamiento a la rotura, porcentaje retenido

(b) - - - - - CO: Índice de carbonilo

4.1.2. Filamentos extraídos de las redes (PEAD)

Se detallan en los cuadros siguientes los valores del porcentaje retenido de elongación a la rotura y radiación total determinados sobre los filamentos extraídos de dos muestras identificadas N° 1 y N° 3, expuestos durante 48 meses.

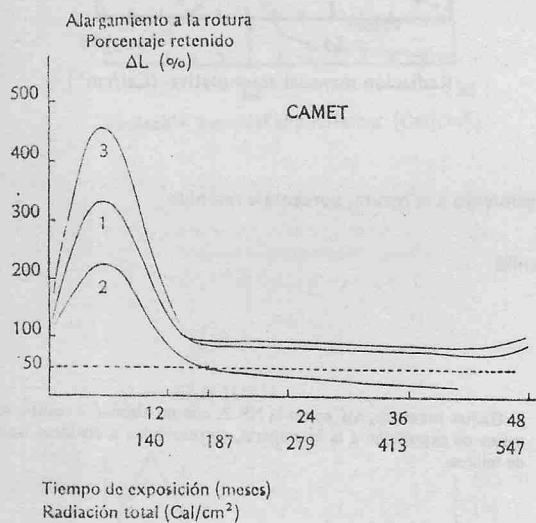
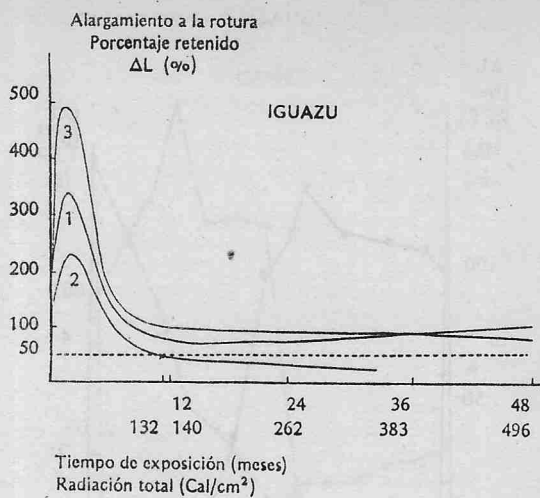
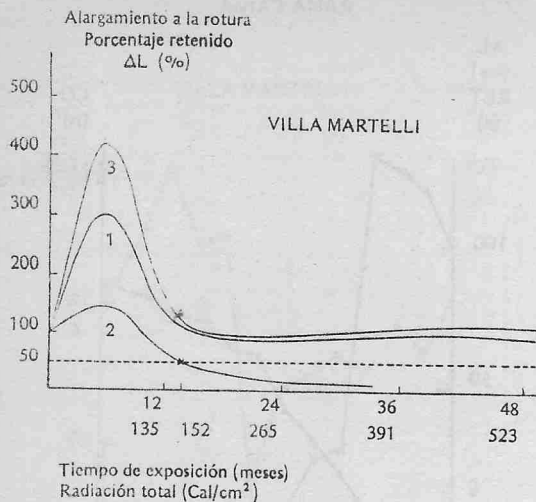
Dichas muestras, así como la N° 2, que no alcanzó a resistir 48 meses de exposición a la intemperie, corresponden a distintos tipos de tejidos.

TABLA N° 3

MUESTRA N°	VILLA MARTELLI		CAMET		SAN JUAN		IGUAZU	
	RADIACION TOTAL Cal/cm ²	ΔL % RET (%)	RADIACION TOTAL Cal/cm ²	ΔL % RET (%)	RADIACION TOTAL Cal/cm ²	ΔL % RET (%)	RADIACION TOTAL Cal/cm ²	ΔL % RET (%)
1	523	98	547	92	751	77	496	103
3		116		89		63		60

En los gráficos que siguen se representa el porcentaje retenido del alargamiento a la rotura en función de la radiación y el tiempo de ex-

posición. Se reitera que la red identificada N° 2 se deterioró a los 28 meses de exposición, como se muestra en los mismos.

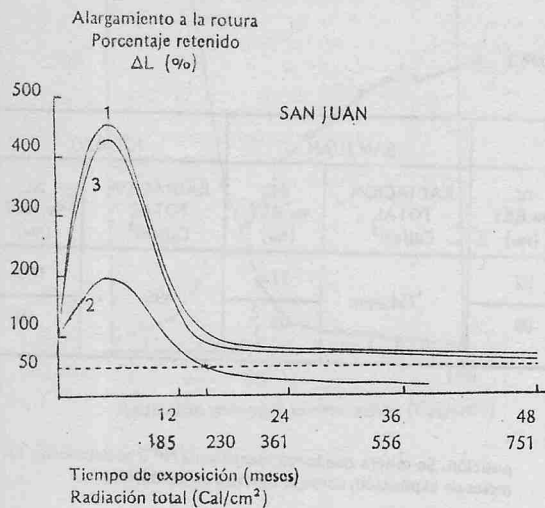


4.1.3. Redes (PEAD)

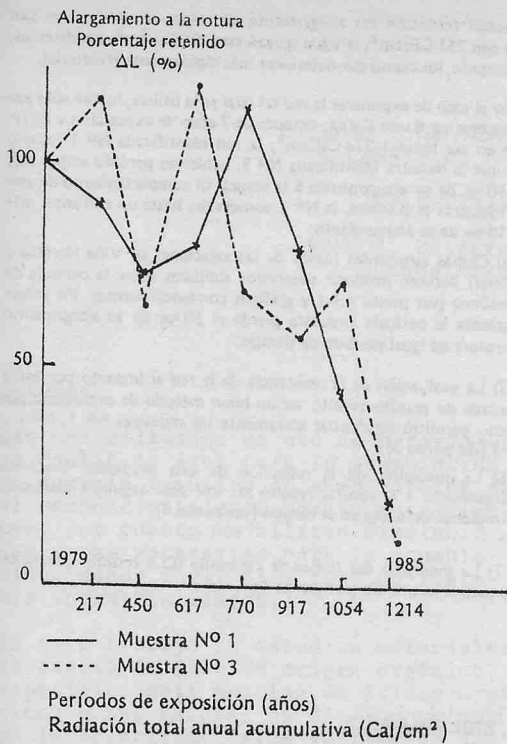
En el cuadro siguiente se informan los valores del porcentaje retenido de alargamiento a la rotura y radiación total para las redes identificadas N° 1 y N° 3 expuestas en Rama Caída, durante 48 meses.

En la estación de Castelar la exposición se dio por terminada a los 54 meses por falta de más muestras en exposición.

TABLA N° 4



RAMA CAIDA	
RADIACION TOTAL Cal/cm^2	ΔL % RET (%)
	21
1214	
	13



4.2. EXPOSICION EN EQUIPOS DE LABORATORIO: ENSAYOS ACELERADOS

4.2.1. Película de polietileno (PEBD)

Muestras de la película se expusieron en los siguientes equipos, durante los tiempos indicados. Se midieron el porcentaje retenido del alargamiento a la rotura y el índice de carbonilo.

TABLA N° 5

EQUIPO	XENOTEST	WEATHER OMETER	CAMARA U.V.
EXPOSICION HORAS	200	800	175
ΔL % RET (%)	22	50	35
CO	0,52	2,75	1,11

4.2.2. Filamentos extraídos de las redes (PEAD)

Muestras de los filamentos se expusieron en los siguientes equipos durante el tiempo indicado. Se midió el porcentaje retenido del alargamiento a la rotura.

El índice de carbonilo (CO) no pudo determinarse por tratarse de material pigmentado en negro.

TABLA N° 6

EQUIPO	MUESTRA	EXPOSICION	ΔL % RET
	N°	HORAS	(%)
XENOTEST	1	3.500	51
	2		21
	3		74
CAMARA U.V.	1	500	70
	2		38
	3		84

En estos ensayos no pudo medirse la radiación total por no contar los equipos con los dispositivos necesarios.

4.3. FACTORES DE CORRELACION ENTRE EL ENSAYO DE EXPOSICION NATURAL Y EL ENSAYO EN EQUIPOS DE LABORATORIO

Se definen como el cociente entre el tiempo necesario para producir un deterioro determinado en el ensayo de exposición natural y el necesario para producir el mismo deterioro en el ensayo de laboratorio.

Para películas de polietileno se calcularon los siguientes factores:

- Para el XENOTEST, entre 14 y 29
- Para el WEATHER-OMETER con lámpara de arco de carbón, entre 4 y 7
- Para la CAMARA con RADIACION ULTRAVIOLETA, entre 16 y 33,

dependiendo estos valores de la situación geográfica de la estación de exposición natural en consideración.

Para los filamentos de las redes se calcularon los siguientes factores:

- Para el XENOTEST, aproximadamente 10
- Para la CAMARA, aproximadamente 69

5. ENSAYO DE SIMULACION DE IMPACTO DE GRANIZO SOBRE REDES

El ensayo consiste en lanzar sobre la red montada en un marco que se mantiene vertical, proyectiles de forma esférica (forma a la que se asimiló el granizo para simplificar los cálculos) similares en peso y tamaño a las piedras de granizo con mayor probabilidad de encontrarse en las tormentas de la zona [2] [3] [4] [5]. Como resultado de este ensayo se registra la velocidad y la energía cinética del impacto mínima para dañar la red, ya sea afectando su apariencia o permitiendo, por la magnitud del daño, la penetración del hielo o un mal funcionamiento general.

Para efectuar este ensayo se pesó cada proyectil antes de ser disparado, y se midió su velocidad utilizando cronógrafo computarizado, modelo 4010 de Electronic Counters, Inc. existente en el Laboratorio de la Policía Federal. A partir de estos datos se calculó la energía cinética de impacto. Los resultados arrojados sobre redes sin exponer y con 7 años de exposición natural en Rama Caída, son los siguientes:

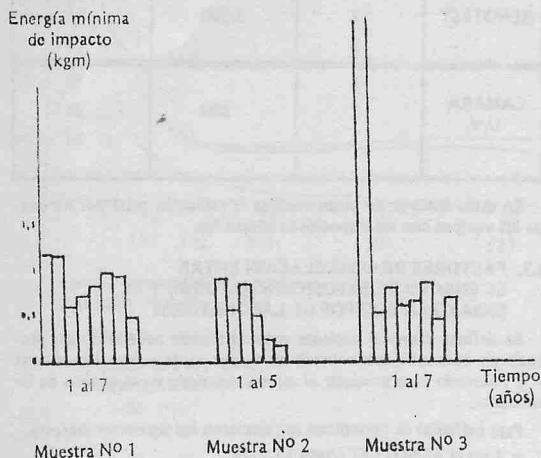
TABLA N° 7

MUESTRA	ENERGIA MINIMA (kgm)		
	N°	S.E.	E
1		1,180	0,521
2(*)		1,054	0,200
3		4,722	0,729

S.E.: red no expuesta
E : red expuesta

(*) Valor correspondiente a 5 años de exposición. A partir del mismo se discontinuó el ensayo.

En el gráfico siguiente se muestra la evolución de las muestras en función del tiempo de exposición.



7. CONCLUSIONES

1) En acuerdo con la bibliografía existente sobre el tema, la radiación solar resultó ser una variable importante en la degradación de los materiales plásticos expuestos.

2) Se determinaron los factores de correlación entre ensayos de exposición natural y de exposición en equipos de laboratorio, tanto para las películas de PEBD como para las redes de PEAD o filamentos extraídos de las mismas, observándose que la cámara con luz ultravioleta resultó ser la más agresiva por cuanto es el dispositivo que más reduce el tiempo de exposición del material para alcanzar igual deterioro en la intemperie.

3) Los climas que resultaron más agresivos para la película de polietileno son Villa Martelli, Castelar, San Juan y Rama Caída (ver punto 4.1.1 y gráficos siguientes). En ellos la película pierde un 50% del valor inicial del alargamiento a la rotura en tiempos de exposición aproximadamente iguales (5 meses en las tres primeras estaciones y 4 meses en la última) y para valores de radiación total comprendidos entre un mínimo de 65 Cal/cm² y un máximo de 95 Cal/cm². Esta diferencia en los valores de radiación se debe a la diferencia de clima en las cuatro estaciones mencionadas.

En Camet se alcanzó el decaimiento del 50% después de 7 meses de exposición y para un valor de radiación total de 92 Cal/cm². En Iguazú se alcanzó ese decaimiento después de 8 meses de exposición y para una radiación total de 79 Cal/cm².

En cuanto a los filamentos extraídos de 2 muestras de redes y expuestas durante 48 meses en las estaciones de Villa Martelli, San Juan, Camet e Iguazú (ver punto 4.1.2 y gráficos correspondientes),

AGRADECIMIENTO

Mi reconocimiento al Dr. Raúl De Micheli por sus certeras observaciones, a la Ing. Nora Schicchi y colaboradores del Laboratorio Físico del CITIP y del INTI, que con su aporte hicieron posible la realización de este trabajo.

la menor retención del alargamiento de rotura se produjo en San Juan con 751 Cal/cm², le sigue Iguazú con 496 Cal/cm², siendo éstos, por lo tanto, los climas que deterioran más rápidamente el material.

En el caso de exponerse la red tal cual se la utiliza, lo que sólo pudo hacerse en Rama Caída, después de 7 años de exposición y de recibir en ese lapso 1.214 Cal/cm², la red identificada Nº 1 resistió más que la muestra identificada Nº 3, habiendo perdido ambas más del 50% de su alargamiento a la rotura. El comportamiento de ambas muestras es distinto, la Nº 1 conservaba hasta un año antes más del 50% de su alargamiento.

4) Climas semejantes (casos de las estaciones de Villa Martelli y Castelar) parecen producir deterioros similares sobre la película de polietileno (ver punto 4.1.1 y gráficos correspondientes). En ambas estaciones la película expuesta pierde el 50% de su alargamiento a la rotura en igual período de tiempo.

5) La evaluación de la resistencia de la red al impacto por caída simulada de granizo resultó ser un buen método de evaluación por cuanto permitió diferenciar claramente las muestras Nº 1, Nº 2 y Nº 3 (ver punto 5).

6) La medición de la retención de una propiedad mecánica (alargamiento a la rotura) resultó ser útil para seguir la evolución del material expuesto en el tiempo (ver punto 4).

7) La medición del índice de carbonilo (CO) resultó igualmente útil para el mismo fin (ver punto 4).

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] International Organization for Standardization.
- [2] Greenfeld, Sidney H.: "Hail Resistance of Roofing Products". National Building Research Institute, Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, South Africa.
- [3] Rigby A. and Steyn Kelve: "The Hail Resistance of South African Roofing Materials". National Building Research Institute, Pretoria, South Africa.
- [4] Laurie, J.A.P.: "Hail and its Effects on Buildings". National Building Research Institute. Bulletin 21, Pretoria, South Africa.
- [5] Comisión de Lucha contra el Granizo, Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales, Campañas 1976-77; 1977-78.
- [6] Mc Kellar John and Allen Norman: "Photochemistry of Man-Made Polymers". Department of Chemistry and Applied Chemistry - University of SALFORD, U.K. - Applied Science Publishers Ltd., Ripple Road, Barking, Essex, England.
- [7] Labana Sautokh S., "Ultraviolet High Induced Reactions in Polymers". (ACS Symposium Series) (25 ISSN 0097-6156) Editor, Ford Motor Co.
- [8] Davis and Sims: "Weathering of Polymers". Propellants, Explosives and Rocket Motor Establishment, WALTHAM ABBEY, Essex, England. Applied Science Publishers Ltd., Ripple Road, Barking, Essex, England.