

# Incorporación de filtros UV contra la foto-degradación del plástico PEAD reciclado.

Para su futura incorporación como material en la arquitectura de exterior.

**Estudiante:** Valentina Sofía Montt Maray  
**Profesor guía:** Cristian Eduardo Muñoz Díaz.

## Resumen

Se evalúa tanto la compatibilidad como la efectividad de diferentes filtros UV de diversas áreas, tales como automotriz, artística, de arquitectura, entre otras; los cuales fueron aplicados en unas placas de plástico PEAD reciclado. Esto con la intención de descubrir cuál de los filtros funciona mejor a la hora de proteger el plástico contra la radiación UV, dado que esta radiación a largo plazo afecta a las propiedades mecánicas del material. Teniendo por objetivo contribuir a la inclusión de nuevos materiales a la arquitectura. Dando por resultados la eficiencia de tres de los cinco filtros aplicados, logrando reducir la foto-degradación que los rayos UV producen en el material.

**Palabras clave:** PEAD, Filtros UV, Reciclaje material.

## 1. Introducción

La industria de la construcción es una de las que más contaminación genera a nivel mundial, solo en Chile es responsable del 30% de las emisiones de gas de efecto invernadero (GEI), además de generar cerca del 23% de los residuos a nivel nacional (Acuña et al., 2019). Las cifras dejan en evidencia la necesidad de que los arquitectos empiecen a responsabilizarse de la vida útil de los materiales buscando nuevas soluciones.

Según un estudio de The Plastic Waste Makers Index (2021) los cuales analizaron dentro de un rango de 100 países la cantidad de desechos de plástico de un solo uso que estos producían, Chile alcanzó el puesto número once en el estudio, produciendo cerca de 51 kilos de plástico por persona.

Es dentro de este contexto que el tema del reciclaje y la reutilización toma relevancia, especialmente el reciclaje del plástico debido a todo el daño que genera en el medio ambiente. Ya mencionado lo anterior, dentro de la investigación se selecciona el plástico PEAD como material de prueba.

Se eligió el plástico PEAD debido a que tiene una gran variedad de ventajas tales como: dureza, alta resistencia al impacto, baja conducción, resistencia a

la abrasión y corrosión, resistencia a los químicos, buena protección contra la humedad, buenas propiedades mecánicas, entre otras (Grigoriadou et al., 2018)

Dadas todas las ventajas que el material posee, es de suma importancia buscar métodos y herramientas que permitan incorporarlo en la arquitectura; inclusive ya en países como Costa Rica y Colombia se empezaron a desarrollar sistemas de construcción a través de bloques de plástico PEAD y PET reciclado.

Se considera que este material tiene un futuro prometedor en la construcción, ya que todas sus ventajas y buenas propiedades abren paso a su futura implementación tanto en mobiliario como en la creación de espacios exteriores. Es un material liviano, pero resistente, el cual es moldeable, flexible y permite una variedad de implementaciones.

Si bien ya se mencionaron todas las ventajas que posee el material, hay una gran desventaja que limita su uso, la cual consiste en la baja resistencia a la radiación UV.

El plástico está compuesto por cadenas estructurales de polímeros, las cuales empiezan una reacción de quiebre en cadena al estar expuestas durante mucho

tiempo al sol, debido a que este degrada los enlaces primarios del material, volviéndolo más frágil y quebradizo (Ureta y Rodríguez, 2019), esto es perjudicial para el material dado que pierde una gran parte de sus propiedades mecánicas.

Ya planteado el problema que presenta el material para su posible incorporación en la arquitectura a largo plazo, se hace necesario buscar herramientas que ayuden a extender la vida útil del plástico al protegerlo de los rayos UV.

En esta investigación se va a abordar la problemática de la foto-degradación en el plástico PEAD reciclado, llegando a la hipótesis de que **es posible, mediante tecnologías de filtros frente a la protección de rayos UV, extender la vida útil del plástico PEAD reciclado, logrando una factibilidad para su uso en espacios exteriores, aumentando las posibilidades de su empleo en arquitectura.**

Teniendo por objetivo principal el contribuir en la investigación del plástico PEAD reciclado para su incorporación en la arquitectura, mediante la mejora de su comportamiento frente a los rayos UV.

Todo lo anterior se busca lograr a través de la siguiente pregunta: ¿qué métodos que logren ser compatibles con el plástico PEAD reciclado, son factibles de utilizar para evitar la foto degradación del material en ambientes exteriores?

## 2. Marco teórico

### 2.1. Plásticos

Se define como plásticos a una serie de materiales que están hechos por diversos compuestos orgánicos o sintéticos, estos son obtenidos mediante la polarización de monómeros, los cuales provienen de diversos derivados tales como el petróleo, carbón, gas natural, celulosa, entre otros; lo que se traduce en que el plástico es un material orgánico (C.E.M.P.R.E , 1998).

Dentro de lo que vienen a ser los diferentes tipos de plástico, estos se dividen a través de tres tipos de clasificaciones:

1. **Estructura química:** esta se define gracias al comportamiento del plástico frente a variadas temperaturas, clasificándose en termoplásticos, termoestables y elastómeros.
2. **Polaridad:** el nivel de polaridad que presente el plástico va a afectar en varios componentes del material, tales como sus propiedades

mecánicas, niveles de absorción de agua, resistencia química, entre otras (Aimplas, 2019).

3. **Aplicación:** solo se emplea en los termoplásticos, categorizándolos según su uso.

### 2.2. Plástico PEAD

Profundizando en cuáles son las clasificaciones y diferencias que debe haber entre plásticos para categorizarlos, se destaca el polietileno de alta densidad (PEAD).

Este polímero se caracteriza por tener una estructura lineal con pocas ramificaciones, esto se traduce en una mayor densidad molecular, lo cual le otorga una mayor resistencia, rigidez y dureza.

Se encuentra en la categoría de termoplásticos, los cuales tienen la característica de mantener su forma y rigidez una vez desmoldado el material. Según Garraín et al. (2008) la producción de termoplásticos corresponde a un 80% del total de consumo de plásticos hoy en día.

Se caracteriza por tener una mayor rigidez, además, de resistir mejor los cambios de temperatura, pudiéndose encontrar como ejemplo en productos de aseo o químicos. Si bien, el calor en elevadas temperaturas afecta al material, es distinto al proceso de foto-degradación que la radiación UV le produce.

### 2.3. Propiedades del plástico PEAD

Como se mencionó en la introducción, el polietileno de alta densidad tiene una gran variedad de propiedades.

Dentro de ellas, cabe destacar sus propiedades físicas, esto debido a que el polietileno posee una mayor densidad, y mientras mayor densidad mayor resistencia.

Propiedades	Valor	Unidades
Densidad	0.941 - 0.965	g/cm <sup>3</sup>
Absorción del agua	<0.5	mg a 96h
Contracción	1.5 - 3	%
Resistencia a la tensión	18 - 35	N/mm <sup>2</sup>
Elongación / Punto de ruptura	1000	%
Resistencia al impacto	No rompe - 6	KJ/m
Temperatura de deflexión	50	C°
Resistencia dieléctrica	>600	KV/cm

Tabla 1: Tabla de propiedades físicas del plástico PEAD. Fuente: elaboración propia basada en una tabla de Roca (2005)

Propiedades	Valor	Unidades
Coefficiente de fricción	0.29	
Dureza	D60 - 73	
Módulo de tracción	0.5 - 1.2	(Gpa)
Relación de poisson	0.46	
Resistencia a la tracción	15 - 40	(Mpa)
Resistencia al impacto	20 - 210	(J m <sup>-1</sup> )

Tabla 2: Tabla de propiedades mecánicas del plástico PEAD. Fuente: elaboración propia basada en una tabla de Roca (2005)

Además, Roca (2005) explica que posee una estructura no-polar, lo cual permite que el material absorbe poca humedad, dado que afecta a la permeabilidad del plástico, esto debido a que al agua se le dificulta disolver estructuras no polares.

Respecto a la resistencia mecánica, esta depende de la distribución del peso molecular del polietileno, el cual si se encuentra en mayor cantidad mejoran las propiedades del material. El valor del módulo de elasticidad (módulo de Young) del plástico PEAD varía según las condiciones de la muestra, pero se suele encontrar entre los 600 a los 1000 (MPa) (Allende & Arriagada, 2013), estos valores pueden variar en el plástico PEAD reciclado.

## 2.4. Debilidades del plástico PEAD

Lo primero que hay que saber sobre los polímeros es que una vez empieza el proceso de degradación, se inicia una reacción en cadena dentro de la estructura molecular, lo cual produce que el material de a poco vaya perdiendo sus propiedades, quedando inservible.

Uno de los procesos de degradación que más afecta a los plásticos es la foto degradación, esta se entiende como:

“Una reacción química que se produce bajo la influencia de la luz, (...) uno de los factores que condicionan este proceso es la intensidad de la radiación UV” (Portales, 2015).

La capacidad de absorción de los rayos UV del plástico PEAD es importante dado que es esta la que define si se producirán efectos degradativos en el polímero, provocando que en algunos casos este material se vuelva más frágil y quebradizo, perdiendo el color con los años, además de perder propiedades mecánicas tales como su elongación, fuerza de impacto y fuerza de tensión (Ureta y Rodríguez, 2019).

## 2.5. Radiación UV

La radiación UV o rayos ultravioleta son oscilaciones de energía electromagnética, las cuales están constituidas por fotones que se mueven en diversas frecuencias, otorgándoles una gran actividad fotoeléctrica y fotoquímica (Pulido, 2018).

Debido a la diferencia entre las oscilaciones de ondas de la radiación UV, esta se clasifica en tres categorías:

- **Ultravioleta A (UVA):** posee una longitud de onda entre los 315 hasta 399 nm, siendo la que más traspasa la capa de ozono, pero es la más inofensiva.
- **Ultravioleta B (UVB):** posee una longitud de onda entre los 280 hasta 314 nm, una parte de esta radiación es absorbida por la capa de ozono.
- **Ultravioleta C (UVC):** se encuentra entre los 100 hasta los 279 nm, se absorbe en su totalidad por la capa de ozono, lo cual es positivo dado que esta radiación es la más dañina para la salud.

## 2.6. Radiación UV y su relación con el plástico

La relación de los rayos UV con el plástico no es buena, dado que estos son uno de los principales factores que influyen en la degradación del material.

Esta degradación tiene comportamientos distintos dependiendo del tipo de onda que recibe de los rayos UV. Si esta onda es de longitud larga es responsable de las diversas reacciones de foto oxidación del material, por otro lado, si la longitud de onda de los rayos UV es corta, se produce la escisión directa de las cadenas poliméricas (González-Prolongo, 2007). Ambas resultan en un cambio de la estructura química del material, alterando sus cadenas poliméricas y junto con ello sus propiedades mecánicas, térmicas, químicas, entre otras.

## 2.7. Filtros UV

Lo que funciona como filtro UV en el plástico son unos aditivos denominados “aditivos anti-UV” los cuales se agregan al material en su proceso de formación.

Hay poca información sobre filtros UV para plástico que funcionen de una manera externa, por lo mismo se investigó sobre filtros UV de diversas áreas.

Existen unos filtros UV que funcionan como películas protectoras sobre superficies tales como el vidrio,

esta película se adhiere al material y lo protege tanto de daños como de la radiación.

Asimismo, existen filtros que son más parecidos a pinturas o aerosoles, los cuales tienen aplicaciones en diversas áreas, como por ejemplo en cuadros, los cuales se piensan exhibir en lugares exteriores con el objetivo de otorgar una mayor protección.

También hay pinturas contra la degradación que se aplican a edificios en obra dura, en donde se utiliza sobre el hormigón, fijando una capa protectora al material.

### 3. Metodología

La metodología que se empleó de investigación para el seminario es experimental. Se busca, a través de la realización de un experimento, ver si diferentes filtros UV logran una eficiente protección del plástico PEAD, para su futuro uso en arquitectura exterior.

Como introducción a la metodología, hay que tener en cuenta que dentro de la investigación que se llevó a cabo, fue poca la información que se pudo encontrar para la protección con filtros UV externos de plástico PEAD reciclado.

#### 3.1. Selección de los filtros UV

Dado que el experimento consiste en la compatibilidad de los filtros UV con el plástico PEAD reciclado, se buscaron soluciones que no solo se aplican en el área de arquitectura.

Para seleccionar los filtros se definieron una serie de criterios que ayudarían a facilitar la compatibilidad del filtro con el material, estos son:

- Disponibilidad / Accesibilidad
- Transparencia
- Costo
- Maleabilidad
- Eficiencia
- Compatibilidad

Los criterios fueron considerados en torno a si facilita su aplicación en la arquitectura o no. Como se puede observar, todos los criterios tendrían un impacto en la futura aplicación de los filtros en el plástico.

Finalmente, dentro de los criterios mencionados se llegó a seleccionar cinco filtros UV. Estos se aplican a diversas áreas tales como automotriz, artística, de arquitectura, etc.

Los filtros con los cual se trabajó son los siguientes:

- **Glassfilm:** una máscara protectora que se aplica en vidrios y ventanas, diseñada para proteger los interiores.
- **Polarizador nano cerámico (American Film):** la misma lógica del glassfilm, brinda una protección de hasta un 90% frente a los rayos UV.
- **Protector UV3:** es un aerosol que se usa para la foto degradación en vehículos, posee un filtro solar.
- **CaveFloorSeal:** es un sellador de pisos de hormigón, el cual sirve para protegerlos del desgaste climático.
- **Spray UFA UV:** es un barniz hecho para el arte, busca prolongar la vida útil del cuadro en espacios exteriores.

Al evaluar los criterios de selección junto con los filtros, se concluyó que lo más importante a la hora de pensar en ellos es la compatibilidad de estos con el plástico, tanto el filtro GlassFilm como el polarizador nano cerámico presentaron una baja compatibilidad con el material, esto debido a que para que funcionen bien ambos filtros requieren de una superficie más lisa y una materialidad distinta, dado que no se adhiere bien al plástico.

#### 3.2. Elaboración sistema de radiación

Ya seleccionados los filtros se empieza a elaborar lo que vendría a ser el sistema de radiación UV, por el cual se van a someter las muestras a prueba.

Este sistema consiste en una caja de cartón panel de 1 cm de espesor, con unas dimensiones de 50x50x50 cm, la cual fue recubierta en todo su interior con papel aluminio, el que funciona como reflector de la radiación UV (Fig. 3).

Como fuente de radiación se usaron dos ampollas de la compañía UVlife, las que cuentan con un sistema de desinfección que aplica radiación UVC por un lapso máximo de 3 horas, con una longitud de onda de 285nm.



Imagen 1: Caja de experimento de radiación UV. Fuente: elaboración propia.

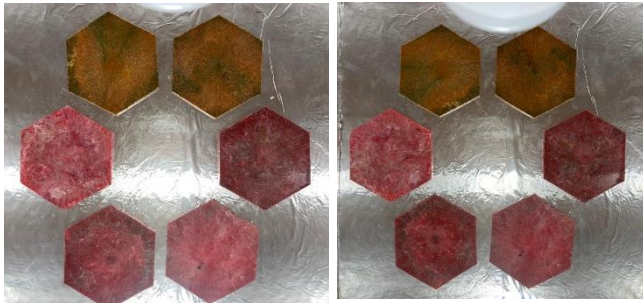


Imagen 2: muestras sometidas a radiación. La primera del 20 de mayo, la segunda del 19 de junio. Fuente: elaboración propia.

Debido al límite de tiempo que poseen las ampollitas, se elaboró un sistema eléctrico a través de dos temporizadores, los cuales permitieron que se prendieran consecutivamente, este sistema se empleó 3 veces al día, lo que significa que las muestras tuvieron 9 horas de radiación diaria. Si esto, se suma al tiempo total del experimento, el cual fue 34 días, quiere decir que los sujetos de prueba estuvieron sometidos a un total de 306 horas de radiación.

Si bien esto no es tanto en horas de radiación, dado que el proceso de foto-degradación requiere de mucho tiempo, se lograron ver cambios en el comportamiento mecánico del material.

Esta es la parte crucial del experimento, dado que se espera que con esta radiación las propiedades mecánicas de las muestras se vean afectadas, buscando ver cuál fue el filtro que mantuvo mejor el material.

### 3.3. Preparación de las muestras

Como muestras de investigación se consideraron unas placas de plástico PEAD reciclado, el cual fue adquirido gracias a Desafío Ambiente, en donde se elaboran a través de reciclaje mecánico y luego se funden por calor. Estas placas tienen una forma hexagonal de 14.5x12.5cm con un espesor de 0.6 mm, viniendo en colores rojos y naranjas.

Para el experimento se aplicó cada uno de los filtros a una placa, teniendo por total cinco placas con filtros UV, además, de usar dos placas extras como probetas de control, una de ellas no poseía ningún filtro y fue sometida a radiación, mientras que la otra además de no poseer filtro, no fue sometida a radiación; esto se hizo, ya que, se esperaba ver alguna diferencia en la resistencia del material al ser sometido bajo radiación en su estado normal.

Como se mencionó anteriormente, las muestras fueron expuestas a un total de 306 horas de



Imagen 3: máquinas de pruebas. La primera mide la tracción, la segunda la flexión. Fuente: elaboración propia.

radiación, ya finalizado el periodo se llevaron al laboratorio de polímeros de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, donde se realizaron diferentes pruebas tanto de tracción como flexión, con el fin de medir la resistencia del material

### 3.4. Ensayos sobre las muestras

La primera prueba a la cual fue sometida la muestra evaluaba la deformación y esfuerzo de tracción del material, la cual se realizó en la máquina INSTRON EMIC 23-5D siguiendo la norma ASTM D638. Esta prueba fue para evaluar el módulo de Young (MPa), el cual analiza la relación que existe entre la tensión que se le ejerce al material y la deformación de este frente a ella, de modo que se puede concluir información como la resistencia y elasticidad del material.

La segunda prueba que se realizó evaluaba la flexión del material, usando la máquina Universal Testing Machine modelo WDW-S5, siguiendo la norma ASTM D790. Esto se logra como se muestra en la fig. 4 al posicionar la probeta sobre dos puntos de apoyo y sufrir una presión en un punto intermedio de la muestra, buscando eventualmente deformar o hasta quebrar el material.

Para finalizar, dado que los filtros que se aplican en las muestras son externos a estas, se decidió usar el microscopio Leica modelo 020-520.007 a un aumento de x5 del laboratorio, para realizar un análisis morfológico del material.

## 4. Resultados

A continuación, se analizan los tres ensayos distintos que se hicieron sobre las muestras, la sección de los resultados va a tratar cada ensayo por separado.

En primer lugar, se va a analizar la prueba de tracción del material. Como dato base del experimento se considera la muestra que no tuvo ni radiación ni

aplicación de filtro UV (**muestra 1**); lo que hace la primera prueba es medir el módulo de Young (MPa) del material, el cual indica la rigidez de este frente a una carga unidireccional.

Para entender cómo se llegó a los resultados hay que analizar el gráfico 1, en donde se puede ver que se sacaron tres muestras de cada probeta para tener una mayor certeza respecto a los datos. Por lo mismo, de las tres muestras se saca un promedio, el cual en el caso de la muestra 1 terminó con un valor de 320,99 (MPa); el resto de los valores que sacaron las muestras se encuentran en el anexo 1.

Con el objetivo de entender mejor los datos, se elaboró un código para hablar de ellos, el cual es el siguiente:

- MUESTRA 1: probeta que no sufrió ni radiación ni se utilizó filtro alguno sobre ella.
- MUESTRA 2: probeta que no tiene ningún filtro, pero si sufrió radiación.
- MUESTRA 3: probeta con filtro AmericanFilm.
- MUESTRA 4: probeta con filtro CaveFloorSeal.
- MUESTRA 5: probeta con filtro GlassFilm.
- MUESTRA 6: probeta con filtro Protect UV3.
- MUESTRA 7: probeta con filtro UV Varnish.

Asimismo, dado que cada muestra tuvo tres probetas distintas, estas serán denominadas muestra 1.A, muestra 1.B, muestra 1.C, y así respectivamente.

También hay que tener en consideración a la hora de evaluar los datos que al momento de sacar la muestra 4.B, debido a que las probetas de laboratorio suelen tener un espesor de 1 mm, el proceso de cortarlas fue más difícil, puesto que las placas que se usaron en el experimento cuentan con un espesor de 6 mm. En consecuencia, a la hora de obtener la muestra, esta sufrió una quebradura en la mitad, invalidando los resultados de la probeta. Igualmente, al comparar los resultados de las muestras 4.A y 4.C contra los dos mejores resultados de cada una de las otras probetas, la 4 sigue siendo una de las que presenta mejores resultados en la prueba.

En relación con los datos numéricos en el gráfico 2 podemos observar que las muestras que fueron sometidas bajo radiación sí sufrieron un deterioro en sus propiedades mecánicas. Comprobando que la radiación UV efectivamente afecta las propiedades mecánicas del material, como su resistencia, rigidez

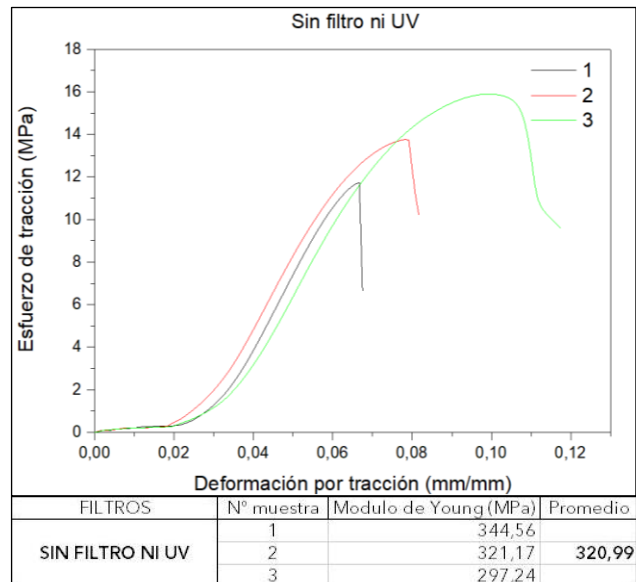


Gráfico 1 de tensión - deformación de la prueba de tracción de la muestra sin radiación ni UV (muestra 1). Fuente: elaboración propia.

y dureza, tal como comentaron Ureta y Rodríguez (2019)

Además, la muestra 2 se usa como dato base para evaluar el comportamiento de las placas que sufrieron radiación. En resumen, se presentan dos muestras que funcionan como puntos de control para el resto de los datos, las cuales se presentan como S.R (muestra 1) y S.F (muestra 2) en los gráficos 2, 3 y 4.

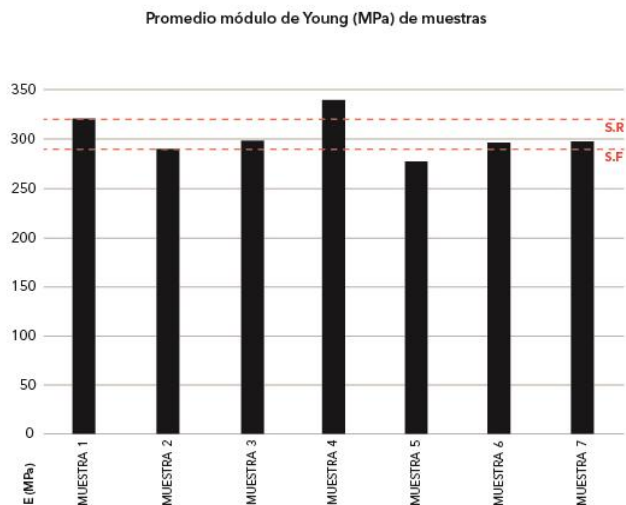


Gráfico 2: promedio módulo de Young (MPa) de las muestras, comparadas con muestra sin radiación (S.R) y muestra con radiación y sin filtro (S.F). Fuente: elaboración propia.

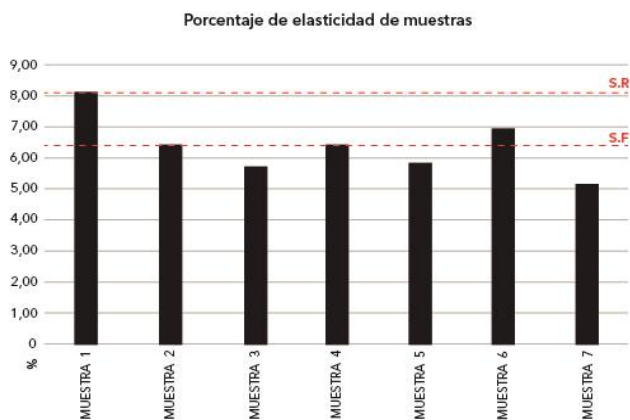


Gráfico 3: porcentaje de elasticidad de las muestras comparadas contra las muestras de control 1 (S.R) y 2 (S.F). Fuente: elaboración propia.

Así pues, si se observan los datos del gráfico 2 se puede ver el cómo de los cinco filtros que se aplicaron en las placas, cuatro lograron proteger al plástico PEAD de la radiación UV, obteniendo mejores resultados que la muestra 2; a excepción de un caso correspondiente a la muestra 5.

Si bien, la muestra 5 y la 3 son similares en términos de materialidad y modo de empleo (siendo ambas una lámina externa que se aplica al material), en los resultados del gráfico 2 se puede apreciar que la muestra 3 obtiene un mejor resultado. No obstante, si se observan los datos que hay en el gráfico 3, ambas muestras se comportan de la misma manera, presentando la muestra 3 una mayor resistencia mecánica, pero un menor porcentaje de elasticidad.

Las probetas que presentaron una mayor rigidez y tolerancia a la tracción fueron las muestras 4 y 3, logrando evitar en parte la foto degradación del material, aunque, si se observa el porcentaje de elasticidad de las muestras, solo la 4 logró mantener las propiedades, mientras que la 3 desempeñó por bajo el punto de control.

Ya para finalizar con la primera prueba mecánica, en relación con el ensayo de tracción que se realizó en las muestras, si se compara los resultados del gráfico de tensión/deformación (grafico 2) contra el gráfico del porcentaje de elasticidad (gráfico 3), se puede observar que hay algunas muestras, las cuales, si bien se desempeñaron por sobre el punto de control en el módulo de Young, no necesariamente se cumplieron las mismas condiciones con el porcentaje de elasticidad que obtuvieron.

Comparando los gráficos, se puede apreciar como cuatro de los cinco filtros aplicados en el plástico

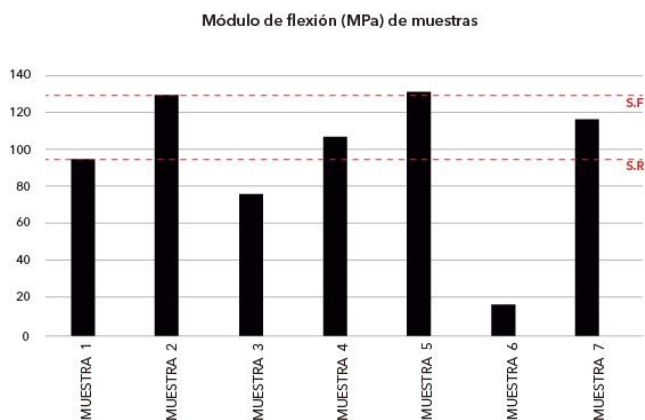


Gráfico 4: módulo de flexión de las muestras comparadas contra las muestras de control 1 (S.R) y 2 (S.F). Fuente: elaboración propia.

PEAD reciclado, lograron protegerlo de la foto-degradación de la radiación UV. Mientras que, en el gráfico de elasticidad solo fueron dos los cuales estuvieron por sobre el punto de control. Es importante tener en consideración que hubo un mejor desempeño frente a las cargas de tracción que el material sufre, en comparación con las capacidades de elasticidad que posee.

Entrando ya a lo que vendría a ser el segundo ensayo del experimento, este evaluaba algo similar al módulo de Young, el cual se denomina "módulo de flexión". Lo que representa este valor es el qué tan resistente es el material frente a fuerzas aplicadas que lo puedan doblar o hasta quebrar en un punto intermedio de la muestra.

Mientras mayor sea el valor, mayor es la rigidez del material y, al contrario (para un mejor análisis de los datos, revisar anexo 2). Esto quiere indicar que la muestra 1 presenta una mayor elasticidad frente a una carga.

Mientras mayor sea la exposición del material a la radiación UV, mayor es la elasticidad que va perdiendo, volviéndose más rígido, esto se puede apreciar en el gráfico al ver la muestra 2 (la que no tenía filtro, pero fue sometida a radiación) y el cómo su valor del módulo de flexión es uno de los más altos. Si bien la rigidez es algo potencialmente positivo para el material, si se piensa usar en arquitectura para lugares exteriores, hay veces que esa rigidez produce que el plástico se vuelva quebradizo, perjudicando en las propiedades mecánicas del material, esto también es algo que se busca evitar con la aplicación de los filtros.

Además, cabe destacar que, si bien la muestra 6 desempeñó bien sobre cargas de tracción, las cuales

en el ensayo son unidireccionales, terminó siendo el peor resultado en la prueba de flexión, esto permite que podamos concluir que, en el caso de esa muestra, el material se comporta bien frente a cargas unidireccionales, pero ocurre lo contrario con fuerzas que sometan al material a cargas de diversas direcciones.

Interpretando el gráfico de este caso, solo dos de los filtros lograron mantenerse dentro de la zona de control que las probetas 1 y 2 generan. Esto quiere decir que las probetas se comportan mejor frente a cargas de tracción que de flexión; dentro de las muestras que tuvieron un mejor comportamiento en la prueba de flexión caben destacar la 4 y la 7, en especial la 4 dado que, si bien hubo un deterioro del material frente a la radiación, fue uno de los filtros que mejor logró controlar la degradación, mientras que la 7 generó también una mayor protección que los otros filtros, pero se vio más afectado por la radiación.

Para finalizar, el último ensayo que se le hizo a las muestras es el del microscopio para lograr ver si se produjo algún cambio morfológico en el material.

Dentro de las imágenes que se sacó de las placas, las que destacan por sobre las demás vendrían a ser las de la muestra 7 y la 4 (las imágenes de las otras muestras se encuentran en el anexo 3). Como se puede observar en la imagen 4, la muestra 7 consistía en un aerosol que se aplicaba sobre la placa, el cual funcionaba similar a un barniz, que si bien se desempeñó dentro del promedio en el ensayo de tracción y en el de flexión, a la hora de preparar la probeta en el laboratorio, el filtro empezó a descascararse de la placa (pudiéndose observar en la esquina superior izquierda de la imagen de la muestra 7), lo cual es perjudicial para el objetivo del experimento, dado que si se piensa aplicar este filtro en PEAD reciclado, el cual se encuentra en espacios exteriores, este corre el riesgo de que cualquier rasguño o golpe pueda afectar al filtro y, por ende afectar a la resistencia del material.

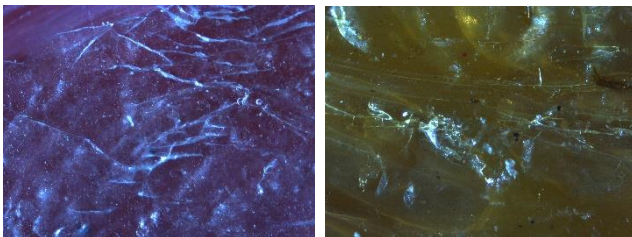


Imagen 4: imágenes sacadas del microscopio. Se presentan la muestra 7 y la 4 respectivamente. Fuente: elaboración propia.

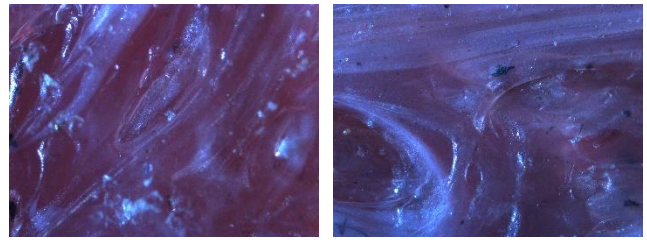


Imagen 5: imágenes sacadas del microscopio. Se presentan la muestra 3 y la 5 respectivamente. Fuente: elaboración propia.

Mientras que, a la muestra 4 se le aplicó un filtro que funciona como pintura, el cual poseía la desventaja de solo distribuirse en formato brillante, por lo mismo, en la imagen se puede observar el brillo leve que posee el filtro, al ver como la luz se refleja aún más en la superficie del material. Esto, si bien, no es perjudicial en la calidad del filtro o del material, afecta en términos estéticos, dado que la superficie siempre va a terminar con un acabado brillante, inclusive si eso no se quiere.

En cambio, las muestras 3 y 5 (las cuales son las similares en materialidad) a la hora de preparar las probetas, los filtros se desprendieron por completo. Esto se debe a la incompatibilidad del filtro con el material, ya que, estos suelen usarse en superficies lisas como el vidrio y, si bien el plástico puede llegar a ser liso, en el caso de las placas que se usaron para el experimento, estas tenían una leve textura dificultando la adherencia del filtro al plástico PEAD reciclado.

## Conclusiones

Para finalizar, se puede concluir lo siguiente:

En primer lugar, cabe destacar que se logró comprobar exitosamente la hipótesis mencionada en la introducción, la cual planteaba la posibilidad de extender la vida útil del plástico PEAD reciclado mediante la implementación de diversos filtros UV externos que permitirán el uso de estos materiales para arquitectura exterior como, por ejemplo, mobiliario urbano. Esto se logró comprobar a través de los resultados de las diversas pruebas mecánicas realizadas sobre las placas, las cuales lograron reducir el daño que el material sufre frente a la radiación UV.

En segundo lugar, se logra responder a la pregunta planteada en el inicio de esta investigación sobre qué métodos logran ser compatibles con el PEAD reciclado, y por ende son factibles de utilizar para evitar la foto-degradación del material. Como



respuesta a la pregunta y analizando los resultados que se obtuvieron con los cinco filtros ensayados en las pruebas, se puede concluir que tres de ellos lograron cumplir con los objetivos de protección propuestos, siendo estos las muestras 4, 6 y 7.

Cabe mencionar que, si bien la muestra 7 cumplió con todos los objetivos de protección fijados en la investigación, tal como se mencionó anteriormente, este filtro presentó problemas de compatibilidad con las muestras de PEAD reciclado, ya que, al realizar las pruebas el filtro se craqueló y terminó desprendiéndose de la superficie, lo cual es relevante a la hora de evaluar la eficiencia del filtro con el material. Las muestras 3 y 5 también presentaron problemas de compatibilidad con las placas, pero estas, a diferencia de la 7, se desprendieron por completo, siendo aún más perjudicial para los objetivos que se quieren lograr en la investigación.

En tercer y último lugar, analizando ya los resultados y el desempeño de los filtros frente a las pruebas mecánicas realizadas, se logró concluir que dentro de los cinco filtros aplicados a las placas, el que tuvo un mejor desempeño contra la foto-degradación fue la muestra 4, la cual si bien tiene la desventaja de venir solo en formato de pintura brillante, fue el que protegió de manera más eficiente al material, además de presentar una mayor compatibilidad frente al plástico a diferencia de las muestras 3, 5 y 7.

Para finalizar, se puede concluir que el experimento logró abrir puertas hacia el futuro del plástico PEAD en la arquitectura, se demostró que existen herramientas que permitan poder extender la vida útil del PEAD reciclado. Siendo un material tan abundante en el planeta, de a poco se podrá ir incorporando como un material tanto para mobiliarios de espacios exteriores, como para la creación de lugares públicos, todo con el objetivo de contribuir a mejorar los espacios y el mundo.

## Agradecimientos

A mi profesor guía Cristian Muñoz, por ser un apoyo fundamental dentro de todo el proceso de seminario, en conjunto con Juan Benavides y Jorge Maureira (ingenieros de la FCFM del laboratorio de polímeros), por ayudarme en todo el proceso de cálculo, ensayo sobre mis muestras y, por su gran paciencia.

## Anexos

Anexo 1: tabla Excel con los datos y gráficos de la prueba de tracción.

Anexo 2: tabla Excel con los datos y gráficos de la prueba de flexión.

Anexo 3: Imágenes del microscopio.

Anexo 4: Imágenes y videos de las pruebas en el laboratorio.

Todos los anexos se encuentran en la siguiente carpeta:

<https://drive.google.com/drive/folders/15tT2t7wT1hbCioiaLXpmMVzWlhsdeDuG?usp=sharing>

## Referentes

Acuña, H., Easton, P., Ramos, C., & Torres, C. (2019). *El sector de la construcción ante el desafío climático global*. Santiago: Gerencia de Estudios CChC.

Aimplas. (15 de Marzo de 2019). *Aimplas, Instituto Tecnológico del plástico*. Obtenido de [www.aimplas.es](http://www.aimplas.es)

Allende, S., & Arriagada, P. (2013). *Polietileno de alta y baja densidad*. Santiago: Universidad de Chile, FCFM.

C.E.M.P.R.E. (1998). *Manual de gestión integral*. Uruguay: Talleres Gráficos Monteverde S.A.

Garraín, D., Vidal, R., Franco, V., & Martínez, P. (2008). Análisis del ciclo de vida del reciclado del polietileno de alta densidad. *ACV*, 58-63.

González-Prolongo, M. (2007). *Propiedades químicas y físicas de los polímeros*.

Grigoriadou, I., Pavlidou, E., M. Paraskevopoulos, K., Terzopoulou, Z., & N. Bijiaris, D. (2018). Comparative study of the photochemical stability of HDPE/Ag composites. *Polymer Degradation and Stability*, 23-26.

Portales, R. (27 de Febrero de 2015). *Agua-medioambiente*. Obtenido de <http://agua-medioambiente.blogspot.com/2015/02/fotodegradacion.html>

Pulido, J. (31 de Mayo de 2018). *Codigospagueti*. Obtenido de

<https://codigoespagueti.com/noticias/ciencia/que-son-rayos-uv-y-por-que-peligrosos/>

Roca, I. (2005). *Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD)*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

The plastic waste makers index. (2021). *Minderoo Foundation*. Obtenido de [minderoo.org](http://minderoo.org)

Ureta, G., & Rodriguez, V. (2019). *Estudio de la degradación por radiación UV en tubos comerciales de PVC en la ciudad de Arequipa*. Arequipa, Perú. : Universidad nacional de San Agustín.