

Degradación de piezas impresas en 3D con material ABS mediante envejecido artificial.

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Carrera

Estudio de la degradación de piezas impresas en 3D con material ABS mediante envejecido artificial, para su uso en partes automotrices exteriores.

Diego Marcelo Cardoso Totoy

Nota del Autor

Diego Marcelo Cardoso Totoy, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK.

Director: Ing. Gustavo Moreno, M.Sc.

Codirector: Ing. Jaime Molina, M.Sc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

dcardoso.mdm@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, Diego Marcelo Cardoso Totoy, con cédula de ciudadanía 060377357-3 declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Diego Marcelo Cardoso Totoy

C.I.: 060377357-3

Índice de Contenidos

Índice de Tablas	6
Índice de Figuras.....	8
Lista de Símbolos y nomenclatura.....	12
Resumen.....	13
Abstract	14
Introducción	15
Antecedentes	15
Justificación.....	16
Objetivos	20
Objetivo general:	20
Objetivos específicos:.....	21
Estado del Arte	21
Fabricación Aditiva	21
Ventajas y desventajas de la impresión 3D	22
Funcionamiento de la impresión 3D.....	23
Flujo de trabajo para la impresión 3D	24
Procesos de impresión 3D	24
Materiales para la impresión 3D.....	27
Polímeros	27
Polímeros en la industria Automotriz	29
El Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)	31

<i>Aplicaciones del ABS</i>	34
Polietileno (PE).....	36
Variación de las propiedades mecánicas del Polietileno al ser sometido a envejecido artificial.....	37
Radiación Solar.....	39
La Radiación Ultravioleta UV	40
Radiación ultravioleta en Quito	41
Degradación de polímeros	42
Fotodegradación del ABS.....	45
Ensayos de intemperización acelerada	45
Envejecido de piezas impresas en 3D.....	48
Ensayo de tracción para la caracterización de materiales poliméricos.....	48
Acrilonitrilo Butadieno Estireno aplicado a una autoparte.	50
Método	53
Diseño de la geometría de las probetas	53
Slic3r.....	54
Pronterface.....	55
Impresión 3D de las probetas.....	56
Envejecido artificial de las probetas de ABS	59
Estimación del tiempo simulado a intemperismo natural en función del tiempo real de exposición a radiación ultravioleta en la cámara de envejecido artificial.	62
Ensayo de tracción	65

Resultados	66
Obtención de las probetas de ABS mediante la impresión 3D	66
Ensayo de envejecido artificial mediante radiación ultravioleta de la cámara de xenón.	67
Resultados del ensayo de tracción a las probetas de ABS impresas en 3D	73
Resultados del Cambio porcentual del valor inicial de resistencia a la tracción y del porcentaje de elongación del ABS impreso en 3D al ser envejecido artificialmente, para compararlo con el polietileno utilizado en la fabricación de parachoques de vehículos.	81
Discusión de Resultados	83
Inspección visual de las probetas sometidas ha envejecido artificial mediante radiación ultravioleta.....	83
Comparación de la información teórica y experimental del ABS.....	85
Cambios en las propiedades mecánicas de las probetas expuestas a envejecido artificial a diferentes tiempos de exposición.	86
Comparación del cambio porcentual del valor inicial de la resistencia a tracción del ABS y el Polietileno en función del tiempo de envejecido artificial para aplicarlo en un parachoques vehicular.....	89
Comparación del cambio porcentual del valor inicial del porcentaje de elongación del ABS y el Polietileno en función del tiempo de envejecido artificial para aplicarlo en un parachoques vehicular.....	92
Conclusiones	94
Referencias Bibliográficas.....	97

Índice de Tablas

Tabla 1 Ventajas y desventajas de la impresión 3D.....	23
Tabla 2 Comparación de las tres categorías de polímeros	27
Tabla 3 Polímeros en un vehículo actual.	30
Tabla 4 Propiedades del ABS	32
Tabla 5 Propiedades cuantitativas del ABS	34
Tabla 6 Propiedades cuantitativas del Polietileno (PE).	37
Tabla 7 Particularidad de los plásticos de resistir a la radiación ultravioleta (UV) por su exposición al sol.....	45
Tabla 8 Normas referentes a la degradación natural de polímeros.	46
Tabla 9 Normas referentes a la degradación acelerada de polímeros.	47
Tabla 10 Características de la impresora MakerGear M2 3D Printer	57
Tabla 11 Parámetros para el ensayo de envejecido artificial	60
Tabla 12 Irradiación ultravioleta promedio en la ciudad de Quito	63
Tabla 13 Razón entre la irradiancia en la cámara de envejecido y el valor promedio que incide en la ciudad de Quito.....	64
Tabla 14 Tiempo simulado a intemperismo natural en función del tiempo real de exposición a envejecido artificial.....	64
Tabla 15 Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación de las probetas a 0 horas de envejecido artificial.....	74
Tabla 16 Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación de las probetas a 100 horas de envejecido artificial.....	75
Tabla 17 Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación de las probetas a 200 horas de envejecido artificial.....	77

Tabla 18 Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación de las probetas a 300 horas de envejecido artificial.....	78
Tabla 19 Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación de las probetas a 400 horas de envejecido artificial.....	79
Tabla 20 Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación de las probetas a 450 horas de envejecido artificial.....	81
Tabla 21 Apariencia visual de las probetas objeto de análisis.....	84
Tabla 22 Información teórica y experimental del ABS	85
Tabla 23 Comparación de la resistencia a la tracción y porcentaje de elongación de probetas envejecidas artificialmente mediante radiación ultravioleta.....	86
Tabla 24. Cambio porcentual del valor inicial de la resistencia a la tracción en función del tiempo de exposición a radiación ultravioleta del ABS y el polietileno.....	90
Tabla 25 Cambio porcentual del valor inicial del porcentaje de elongación en función del tiempo de exposición a radiación ultravioleta del ABS y del Polietileno.....	92

Índice de Figuras

Figura 1. Polímero degradado por medio de un envejecido artificial.....	18
Figura 2. Apariencia visual de distintos plásticos luego de un envejecido artificial.	19
Figura 3. Partes de un auto Strati, impreso en 3D	22
Figura 4. Flujo de trabajo típico para el proceso de impresión 3D.....	24
Figura 5. Proceso por deposición fundida (FDM)	25
Figura 6. Proceso por Sinterizado Selectivo por Láser (SLS)	26
Figura 7. Proceso por Estereolitografía (SLA)	26
Figura 8. Estructura del ABS	31
Figura 9. Parte automotriz utilizando ABS para su manufactura	35
Figura 10. Filamento de ABS de color negro utilizado en la manufactura aditiva.....	36
Figura 11. Cambio porcentual del valor inicial de resistencia a la tracción del Polietileno ...	38
Figura 12. Cambio porcentual del valor inicial del porcentaje de elongación del Polietileno	38
Figura 13. Espectro electromagnético, donde relaciona el color y la longitud de onda	39
Figura 14. Índice Ultravioleta en Quito Fuente: (Secretaria de Ambiente, 2018).....	41
Figura 15. Curvas de tracción de plásticos con diferente comportamiento	50
Figura 16. Partes automotrices externas fabricadas con polímeros	51
Figura 17. Paragolpes de vehículos fabricadas con materiales poliméricos.....	52
Figura 18. Geometría tipo IV según la norma D638 – 14	53
Figura 19. Recorrido de impresión 3D mediante Slic3r.	54
Figura 20. Disposición final de las probetas para la impresión mediante Slic3r.....	55
Figura 21. Interfaz del software Pronterface	56
Figura 22. Impresora MakerGear M2 3D Printer.	58
Figura 23. Impresión de las probetas tipo IV.....	59
Figura 24. Probetas expuestas en la cámara de Xenón.	61

Figura 25. Probetas en la máquina Q-SUN Xe-1-S.	61
Figura 26. Irradiación solar ultravioleta en Quito del 7 de junio del 2018.....	62
Figura 27. Máquina Instron utilizada para el ensayo de tracción.	65
Figura 28. Probeta tipo IV de ABS impresa en 3D	66
Figura 29. Probetas impresas en 3D para el envejecido artificial.....	66
Figura 30. Probetas con 0 horas de exposición a radiación ultravioleta.	67
Figura 31. Probetas con 100 horas de exposición a radiación ultravioleta.....	68
Figura 32. Probetas con 200 horas de exposición a radiación ultravioleta.....	69
Figura 33. Probetas con 300 horas de exposición a radiación ultravioleta.	70
Figura 34. Probetas con 400 horas de exposición a radiación ultravioleta.....	71
Figura 35. Probetas con 450 horas de exposición a radiación ultravioleta.....	72
Figura 36. Curva esfuerzo – deformación con 0 horas de exposición a radiación ultravioleta.	73
Figura 37. Curva esfuerzo – deformación con 100 horas de exposición a radiación ultravioleta.	75
Figura 38. Curva esfuerzo – deformación con 200 horas de exposición a radiación ultravioleta.	76
Figura 39. Curva esfuerzo – deformación con 300 horas de exposición a radiación ultravioleta.	77
Figura 40. Curva esfuerzo – deformación con 400 horas de exposición a radiación ultravioleta.	79
Figura 41. Curva esfuerzo – deformación con 450 horas de exposición a radiación ultravioleta.	80
Figura 42. Cambio porcentual del valor inicial de la resistencia a la tracción del ABS impreso en 3D.....	82

Figura 43. Cambio porcentual del valor inicial del porcentaje de elongación del ABS impreso en 3D	82
Figura 44. Comparación de la apariencia visual a 0 y 450 horas de exposición a radiación ultravioleta	83
Figura 45. Variación de la resistencia a la tracción en MPa del ABS impreso en 3D al someter a radiación ultravioleta durante varias horas.....	87
Figura 46. Variación del porcentaje de elongación del ABS impreso en 3D al someter a radiación ultravioleta durante varias horas.	88
Figura 47. cambio porcentual del valor inicial de la resistencia a la tracción en función del tiempo de exposición a radiación ultravioleta del ABS y del Polietileno.....	91
Figura 48. Cambio porcentual del valor inicial del porcentaje de elongación en función del tiempo de exposición a radiación ultravioleta del ABS y del Polietileno.....	93

Lista de ecuaciones

No.	NOMBRE	ECUACIÓN	UNIDADES
1	Esfuerzo de tracción	$\sigma = \frac{F}{A_o}$	$\frac{N}{m^2}$
2	Deformación	$\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o}$	%
3	Modulo elástico	$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$	$\frac{N}{m^2}$
4	Ecuación de la línea de tendencia para la deformación en función del tiempo de envejecido artificial.	$\varepsilon = -0.0084t + 7.4332$	%

Lista de Símbolos y nomenclatura

SIGNO	NOMENCLATURA	UNIDAD
F	Fuerza	N
A_0	Área	m^2
L_f	Longitud inicial	m
L_o	Longitud final	m

Resumen

La impresión 3D en la actualidad es una técnica de manufactura muy utilizada en el campo automotriz, puesto que sirve para obtener componentes de geometrías deseadas, empleando Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) como material para su procesamiento, debido a sus buenas propiedades mecánicas y su peso ligero. Sin embargo, estos componentes al ser expuestos a la intemperie donde van a cumplir su funcionalidad están propensos al deterioro por la radiación ultravioleta proveniente del sol. Con este trabajo se busca evaluar los efectos de la degradación que sobrellevan los componentes impresos en 3D con material ABS al ser envejecidos artificialmente mediante radiación ultravioleta para la aplicación en partes automotrices. Se utilizó el método experimental donde los especímenes fueron sometidos a envejecido artificial a 0, 100, 200, 300, 400 y 450 horas de exposición a radiación ultravioleta. Posteriormente se realizó el ensayo de tracción para verificar cambios en la resistencia mecánica y en el porcentaje de elongación del material. Con una inspección visual de las probetas de ABS de color negro se logró percibir una tenue decoloración, sin embargo, no se encontró ningún cambio en su textura. La resistencia a la tracción varió, de 40.8 MPa sin envejecido artificial a 40.0 MPa con 450 horas de exposición radiación ultravioleta. En tanto que el porcentaje de elongación cambió de 7.8% a 4.1% en los tiempos de exposición anteriormente descritos. Estos resultados muestran una tendencia al deterioro del material, haciéndolo más frágil.

Palabras clave: Envejecido artificial, radiación ultravioleta, impresión 3D, Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).

Abstract

3D printing today is a manufacturing technique widely used in the field automotive, since it serves to obtain components of desired geometries, employing Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) as material for processing, due to its good mechanical properties and its light weight. However, these components to be exposed to the weather where they will fulfill their functionality are prone to deterioration by ultraviolet radiation from the sun. This work seeks to evaluate the effects of the degradation that the components printed in 3D carry with ABS material to be artificially aged by ultraviolet radiation for application in parts automotive. The experimental method was used where the specimens were subjected to artificial aged at 0, 100, 200, 300, 400 and 450 hours of radiation exposure ultraviolet. Subsequently the tensile test was performed to verify changes in the mechanical strength and the percentage of elongation of the material. With a visual inspection of the black ABS specimens a faint discoloration was perceived, however, no change in its texture was found. The tensile strength varied, of 40.8 MPa without aged artificial at 40.0 MPa with 450 hours of ultraviolet radiation exposure. In so much that the percentage of elongation changed from 7.8% to 4.1% in the exposure times previously described. These results show a tendency to material deterioration, making it more fragile.

Key words: Artificial aged, ultraviolet radiation, 3D print, Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS).

Introducción

Antecedentes

La tecnología avanza rápidamente y la manufactura aditiva en el sector automotriz experimenta y desarrolla nuevos productos competitivos. Así; empresas como Local Motors han desarrollado vehículos totalmente funcionales impresos en 3D y cuyo procesamiento duró 48 horas; utiliza un motor, una batería eléctrica y una suspensión fabricada por Renault con un costo entre 18 a 30 mil dólares según la personalización que se requiera en el vehículo (El Universal, 2018).

Por otra parte, todos los materiales están propensos a la degradación debido al pasar de tiempo de utilización y a su régimen de trabajo. En la degradación de polímeros existen estudios que se enfocan en el color, fluidez, propiedades mecánicas y análisis termogravimétrico para observar cómo estos materiales, en condiciones de uso, se van deteriorando (Rojas y Aranzazu, 2015).

Los materiales utilizados para la impresión 3D son diversos, uno de los más usados en el área mecánica y automotriz es el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (Berchon y Luyt, 2016). El ABS, así como otros materiales poliméricos debido a la exposición ambientales exteriores están sujetas a deterioro a causa de las radiaciones UV. Lo cual afecta a las propiedades del material (Cornish, 1997).

Es de interés realizar estudios de degradación en piezas impresas en 3D con Acrilonitrilo Butadieno Estireno para conocer el deterioro de estos componentes presenta al usar una técnica de manufactura que se incrementa considerablemente en los últimos años.

Teniendo en cuenta la importancia que cobra el comportamiento del material ABS impreso en 3D en condiciones de uso exterior debido a que sus propiedades de apariencia visual y de resistencia son afectadas, surgen las siguientes hipótesis: la calidad en piezas

impresas con Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) mediante manufactura aditiva se ve afectada considerablemente cuando son puestas al servicio en condiciones ambientales como luz solar y agua; el envejecido artificial permite predecir el deterioro de componentes a lo largo del ciclo de vida; a mayor grado de degradación, la calidad de los componentes impresos en 3D con material ABS son afectan en su color, textura e incluso en sus propiedades mecánicas.

Por tales motivos se plantea realizar un envejecido artificial a probetas impresas en 3D en material ABS para predecir el desgaste que sufren los componentes al ser expuestos a radiación ultravioleta. Con lo cual se puede observar los cambios que sufre el ABS en su integridad, color y textura.

Justificación

Actualmente la manufactura aditiva comúnmente llamada impresión 3D ha avanzado considerablemente debido a la necesidad de las personas en conseguir componentes u objetos de geometrías complejas que se adapten a las necesidades de la población. Para ello la impresión 3D proporciona un medio eficiente en la elaboración de piezas necesarias en las industrias: automotriz, salud, alimenticia, defensa, aeroespacial, educación, arte, arquitectura.

La demanda de la impresión 3D ha crecido en los últimos años y tiene gran proyección de incremento hacia el futuro en todo el mundo; por lo cual para el año 2020 se tiene una expectativa de mercado de 17 mil millones de dólares. Del mercado de impresión 3D, la industria automotriz abarcó el 12% en el año 2014 y se espera un crecimiento del 15 al 20% dentro de cinco años (Gershenfeld, 2016).

En la impresión 3D se utiliza diversos materiales entre los cuales destaca el ABS debido a su gran flexibilidad para la elaboración de piezas de geometrías deseadas (Berchon y Luyt, 2016).

El ABS es un termoplástico muy utilizado en la industria automotriz, debido a su precio accesible y sus buenas propiedades: fluidez, resistencia al calor y resistencia a los impactos. Sin embargo, este material está sujeto al deterioro debido a sus condiciones de utilización por lo cual es importante considerar la suma de los envejecidos que sufre el material durante la vida del producto. Mediante la técnica de envejecido acelerado se puede simular el deterioro del material en un tiempo de servicio (Boldizar y Möller, 2003).

Según estudios realizados con polímeros expuestos a degradación se presenta decoloración y cambio de textura de los elementos al someterlos a diferentes tiempos de exposición a radiación ultravioleta. Siendo más agresivo el deterioro de los polímeros en condiciones exteriores cuando mayor es el tiempo de exposición respectivamente (Quiroz, Cadena, Sinche, Chango, y Aldás, 2009).

El envejecimiento de polímeros propone los cambios que experimenta el material al ser expuestos a condiciones de intemperismo a largo plazo, para observar su comportamiento ante los agentes externos (Strlic y Kolar, 2005).

La mayoría de los polímeros son deteriorados por acción de la degradación foto-oxidativa. Esta degradación descompone el material debido a la presencia de luz. Los polímeros expuestos a aplicaciones exteriores sometidas a radiaciones de la luz solar determinan la vida útil de estos materiales. Las radiaciones contienen la energía suficiente para romper las cadenas poliméricas, así produciendo cambios de propiedades físicas y ópticas de los materiales expuestos a la foto-degradación. Los principales efectos perjudiciales en los polímeros sometidos a la radiación ultravioleta son el cambio en la apariencia visual, pérdida de propiedades mecánicas, cambios en el peso molecular y la distribución del peso molecular en el componente expuesto (Singh y Sharma, 2007).

La degradación de polímeros tiene mucho interés por lo que se han expuesto varios casos como: “Estudio de la degradación en polímeros oxo-biodegradables”, en este documento se

presenta los cambios que sufren bolsas plásticas de polietileno al someterlas a diferentes análisis, uno de los principales es el envejecido artificial. El documento presenta los efectos que sufre los polímeros a la degradación, como: cambios en color y textura. Y adicionalmente se observa cómo sus propiedades mecánicas son afectadas, todo esto en función del tiempo de exposición (Quiroz, Cadena, Sinche, Chango, y Aldás, 2009).

La figura 1 presenta un polímero degradado por acción de la radiación ultravioleta.



Figura 1. Polímero degradado por medio de un envejecido artificial.

Fuente: (Quiroz, Cadena, Sinche, Chango, y Aldás, 2009)

Según el artículo denominado “El efecto de la degradación foto-oxidativa sobre la fractura en las resinas de tubos de ABS”, en el cual, probetas de tubería de material ABS son expuestas a envejecido ultravioleta; muestra que las probetas tienen un comportamiento frágil por lo cual puede influir en la falla del material expuesto a determinadas condiciones. Se muestra que el tiempo de exposición a los rayos ultravioleta puede influir a la falla del espécimen estudiado (Davis, Tiganis, y Burn, 2003).

Debido a la degradación acelerada, simulada con luz ultravioleta y agua que fueron expuestas a diferentes muestras plásticas a 225 horas y 425 horas se puede observar como la apariencia visual de las respectivas muestras son afectadas, así se lo puede notar en la figura 2. También se constató que el tiempo de exposición a la degradación acelerada afecta el peso de las muestras (Quintana, et al., 2013).

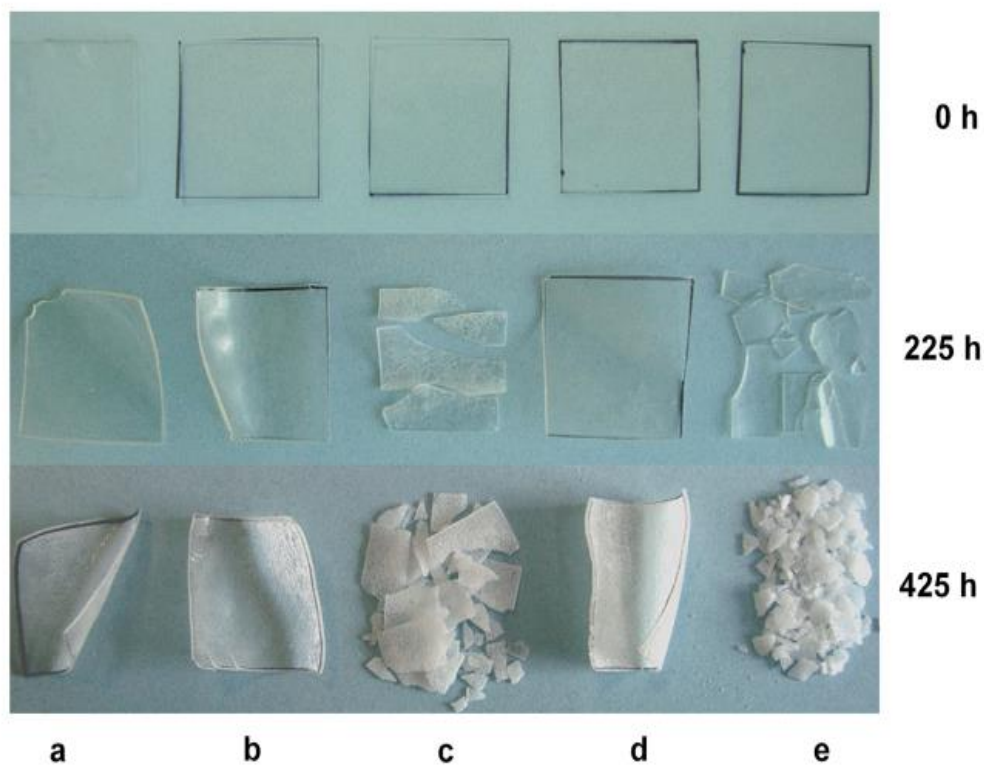


Figura 2. Apariencia visual de distintos plásticos luego de un envejecido artificial.

Fuente: (Quintana, et al., 2013)

La presencia de radiación ultravioleta (UV) en materiales poliméricos producen una degradación foto oxidativa, en la que produce radicales libres, rompe las cadenas poliméricas y reduce el peso molecular. Esto lleva a que en los polímeros se presente un deterioro en las propiedades mecánicas causando materiales inservibles luego de un tiempo determinado de exposición (Emad y Raghad, 2013).

La radiación ultravioleta actuando sobre el Poliestireno produce amarilleo en la superficie y fragilidad en el material (Rabie, Mahran, Kamel, y Abdel Hamid, 2008).

La mayoría de polímeros sintéticos requieren elementos de estabilización contra agentes ambientales como calor, luz y oxígeno para hacerlos más resistentes ante la presencia de tales condiciones de trabajo (Rabek y Ranby, 1975).

Este proyecto busca evaluar los efectos que sobrellevan los componentes de ABS, impresos mediante manufactura aditiva a la degradación, sometiéndolas a un envejecido artificial mediante la radiación ultravioleta producida por lámparas de xenón, para tener información sobre cambios en coloración, textura y resistencia mecánica en dicho polímero.

Así, se utilizará la manufactura aditiva con una impresora 3D para obtener componentes de ABS, los cuales van a ser deteriorados mediante iluminación artificial por medio una cámara de envejecido para simular el desgaste del material en condiciones de uso en exteriores. Con ello se podrá obtener elementos comparativos a diversos tiempos de exposición de envejecido que permitan analizar los cambios que sufre el material.

El contar con información sobre el comportamiento de piezas de ABS realizadas mediante manufactura aditiva en condiciones de utilización es de gran ayuda para evaluar su factibilidad de uso en procesos de manufactura de piezas automotrices.

Objetivos

Objetivo general:

Evaluar los efectos de la degradación que sobrellevan los componentes impresos en 3D con material ABS al ser envejecidos artificialmente mediante radiación ultravioleta para la aplicación en partes automotrices.

Objetivos específicos:

- Imprimir probetas mediante manufactura aditiva con material ABS, utilizando un modelo CAD exportado a una impresora 3D en formato .stl para ser sometidos a análisis de deterioro.
- Realizar un envejecido artificial a probetas impresas en 3D mediante radiación ultravioleta en una cámara de xenón, para simular los efectos del deterioro en condiciones exteriores.
- Cuantificar el grado de degradación del ABS, mediante una inspección visual y ensayos de tracción, para conocer cómo se comporta el material.

Estado del Arte**Fabricación Aditiva**

La Fabricación aditiva conocida internacionalmente como *Additive Manufacturing* (AM) utiliza modelos CAD 3D permite crear objetos mediante la unión típicamente capa por capa de materiales. Se utiliza principalmente en la creación de prototipos rápidos, creación de piezas de geometrías complejas, fabricación de partes, revisión de formas para ensambles y verificación de piezas funcionales (Wohlers, 2018).

En la figura 3 se muestran varias piezas de un auto que se manufacturó mediante impresión 3D.



Figura 3. Partes de un auto Strati, impreso en 3D

Fuente: (parentesis.com, 2018)

En la actualidad la manufactura aditiva se la conoce en forma general como impresión tridimensional (3D); sus inicios como técnica de manufactura se retoman a 1976 con la invención de la impresora de tinta continua, para luego debido a los avances continuos de la tecnología, lograr imprimir componentes que se diseñan mediante modelos por computador. Para la impresión 3D se utilizan diversos materiales; de los cuales en gran medida se ocupan diversos polímeros (Centro de análisis y perspectiva, 2016).

Ventajas y desventajas de la impresión 3D

La manufactura aditiva o impresión 3D proporciona diversas facilidades al manufacturar componentes de geometría simples hasta complejas, sin embargo, también se presentan algunos inconvenientes en la impresión. Estas ventajas y desventajas de esta técnica de manufactura se presentan en la tabla 1:

Tabla 1

Ventajas y desventajas de la impresión 3D

Ventajas	Desventajas
Permite elaborar piezas de geometrías complejas	Materiales limitados para la impresión
Técnica de manufactura nueva para posibles oportunidades de mercado	Vulneración de los derechos de autor
Piezas ligeras	Tamaño limitado de productos
Reducción de procesos de producción adicionales	Costo de las impresoras
Prototipado y fabricación rápido	Personal escaso en el uso de la impresión 3D

Fuente: (Molina, 2016)

Funcionamiento de la impresión 3D

El proceso tiene varias etapas, desde la creación del modelo digital hasta la impresión del prototipo, mismos que se exponen a continuación en forma ordenada:

- 1) Modelación Digital de una pieza utilizando un software CAD.
- 2) Exportación del archivo que contiene el modelo en formato adecuado dependiendo del tipo de impresora, (generalmente “STL”).
- 3) El rebanado que consiste en convertir el modelo digital en comandos para que la impresora las pueda ejecutar (código G)
- 4) Conexión de los datos a la impresora por medio de una tarjeta de memoria o USB.
- 5) Ejecutar la impresión 3D
- 6) Mejorar el acabado eliminando material adicional en la impresión

Flujo de trabajo para la impresión 3D

Para la impresión 3D se deben seguir pasos secuenciales que permiten un correcto proceso de manufactura. En la figura 4, se presenta una gráfica del flujo de trabajo para la impresión tridimensional (3D).

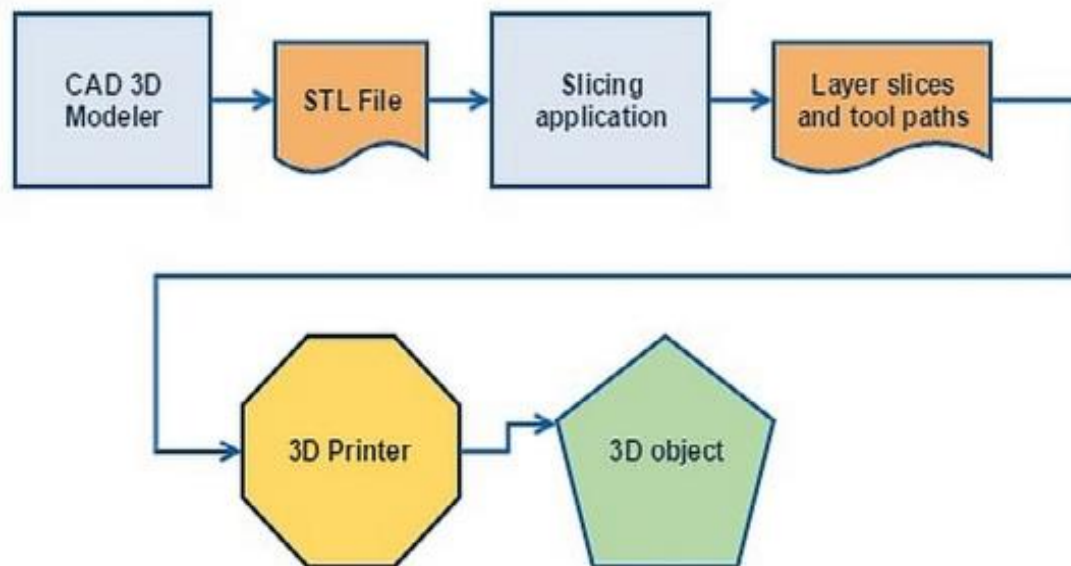


Figura 4. Flujo de trabajo típico para el proceso de impresión 3D.

Fuente: (Hager, Golonka, y Putanowicz, 2016)

Procesos de impresión 3D

Actualmente existen muchos procesos de impresión 3D o manufactura aditiva, sin embargo, los más utilizados en la industria y sobresalientes debido a sus características son los siguientes:

Modelado por deposición fundida (FDM).

En el proceso de modelado por deposición fundida, se tiene una base sobre la cual se deposita material fundido capa por capa de forma continua y secuencial. El material

inicialmente está en un rollo en estado sólido que paulatinamente se funde y es expulsado por una boquilla en pequeños hilos los que se van solidificando conforme toman la forma geométrica de la capa deseada, como se observa en la figura 5.

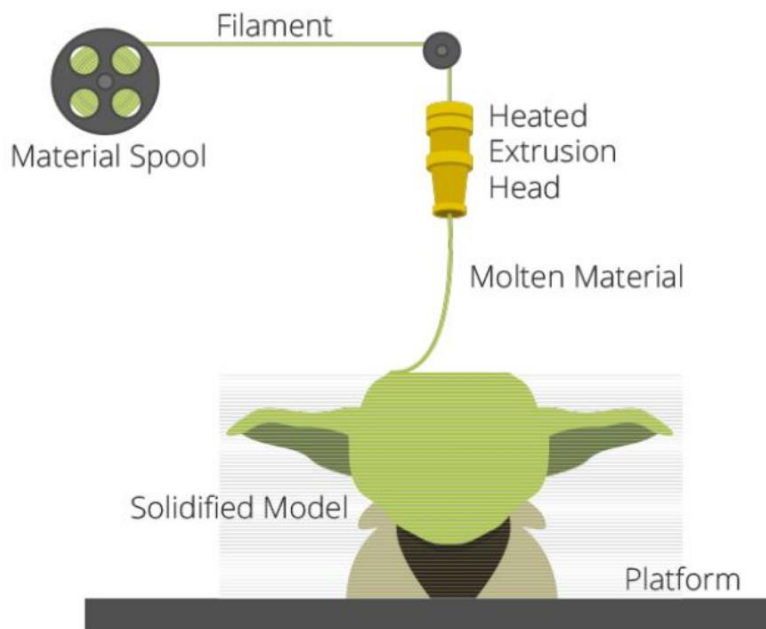


Figura 5. Proceso por deposición fundida (FDM)

Fuente: (Centro de análisis y perspectiva, 2016)

Sinterizado Selectivo por Láser (SLS).

En este proceso se coloca una capa fina de material en polvo dentro de un recipiente a una temperatura ligeramente inferior a la de fusión del material para que un láser sinterice áreas seleccionadas, fusionando el material para luego solidificarse continuamente en la forma deseada. El proceso se repite sucesivamente hasta obtener la pieza deseada. El polvo sobrante puede ser reciclado. Este proceso se lo puede visualizar en la figura 6.

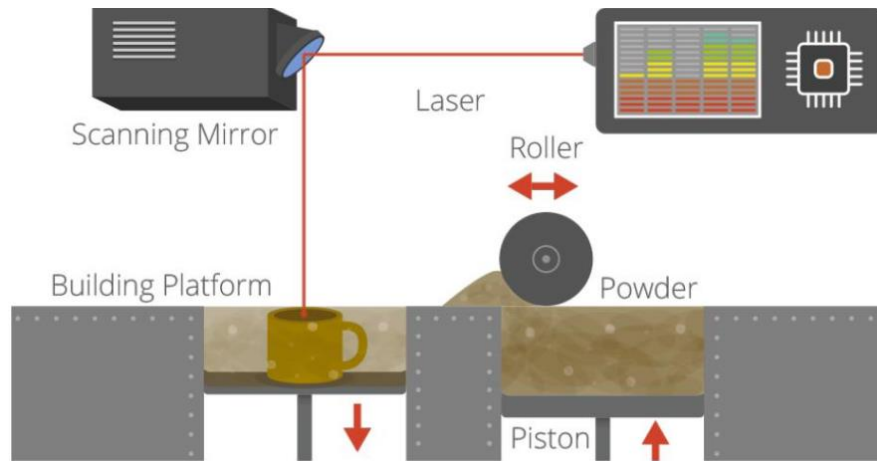


Figura 6. Proceso por Sinterizado Selectivo por Láser (SLS)

Fuente: (Centro de análisis y perspectiva, 2016)

Estereolitografía (SLA).

En el proceso de estereolitografía, a una resina líquida se aplica un haz de luz ultravioleta, la cual la solidifica capa por capa. La base del soporte se mueve verticalmente para que la luz ejerza su acción sobre la nueva capa hasta que alcance la forma deseada; así se lo muestra en la figura 7 (Centro de análisis y perspectiva, 2016).

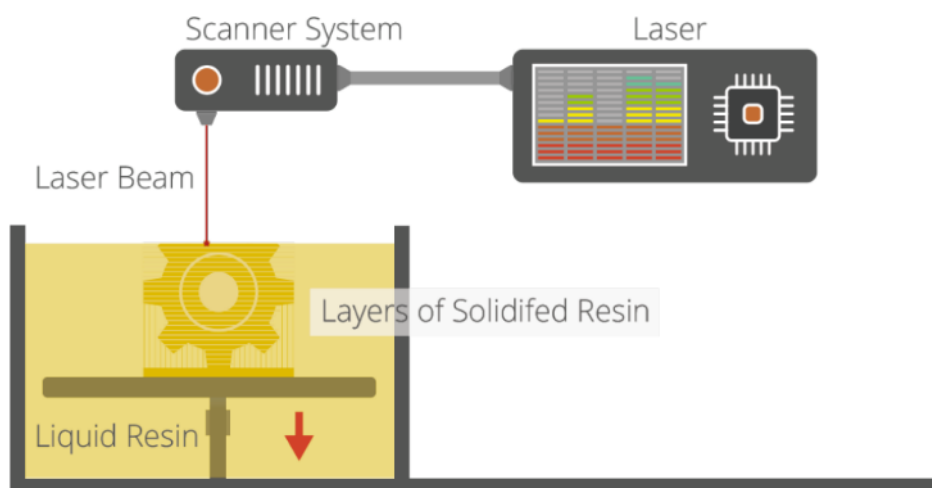


Figura 7. Proceso por Estereolitografía (SLA)

Fuente: (Centro de análisis y perspectiva, 2016)

Materiales para la impresión 3D

En la impresión 3D se utilizan diversos materiales dependiendo del tipo de impresiones utilizara uno u otro material. Dentro de ellos se pueden encontrar materiales orgánicos, cerámicos, plásticos y metales.

Polímeros

Los polímeros son un conjunto de moléculas llamadas monómeros unidas entre sí que se repiten en forma de cadena obtenidas mediante un proceso de polimerización para luego formar grandes moléculas. Estas moléculas contienen unidades que se repiten y se conectan entre sí. Puede existir miles o millones de unidades en una sola molécula. La unión de moléculas forma las macromoléculas. Los átomos de estas moléculas se unen por medio de enlaces covalentes (Groover, 2007).

Los polímeros se los puede clasificar según su comportamiento mecánico y térmico. Las tres principales categorías de polímeros con sus respectivas estructuras se muestran en la tabla 2:

Tabla 2

Comparación de las tres categorías de polímeros

Comportamiento	Estructura general	Ejemplo
Termoplástico	Cadenas lineales flexibles (rectas o ramificadas)	Polietileno
Termoestable	Red tridimensional rígida (las cadenas pueden ser lineales o ramificadas)	Poliuretanos

Elastómero	Termoplásticos o	Caucho natural
	termoestables ligeramente	
	reticulados, consisten en	
	moléculas de tipo resorte	

Fuente: (Askeland, Fulay, y Wright, 2011)

Temperatura de fusión (T_m) y de transición vítrea (T_g)

Las temperaturas de fusión y de transición vítrea son muy importantes para las aplicaciones de los polímeros ya puestas en servicio.

Los polímeros amorfos cuando están a bajas temperaturas son duros, rígidos, frágiles y vítreos mientras que a altas temperaturas son gomosos y correosos. La temperatura donde ocurre esta transición es la llamada temperatura de transición vítrea. Esta temperatura separa el comportamiento de un polímero de frágil a dúctil. La temperatura vítrea varía con diferentes polímeros.

Termoplástico

Estos polímeros tienen enlaces primarios que son covalentes entre los meros y también enlaces secundarios que se dan entre moléculas adyacentes de cadena larga. Los enlaces secundarios son más débiles que los primarios.

Si la temperatura es mayor a la temperatura de transición vítrea (T_g) o a la de fusión (T_m) determinados polímeros son más fáciles de moldear debido al debilitamiento de los enlaces secundarios produciendo que las cadenas adyacentes puedan moverse con mayor facilidad cuando hay fuerzas externas presentes. Luego se enfría y regresa a tener sus propiedades

como dureza y resistencia, siendo este proceso reversible. Estos polímeros son los llamados termoplásticos.

Termoestable

Estos polímeros también llamados termofijos se caracterizan debido a que las moléculas de la cadena se enlazan transversalmente en un arreglo tridimensional convirtiéndose en una molécula grande con sus respectivos enlaces covalentes fuertes. Este enlace es irreversible por lo cual se diferencia de los termoplásticos. Debido a los enlaces de los termofijos, su resistencia y dureza no son afectadas por la temperatura. Pero si se aumenta la temperatura considerablemente en el polímero termofijo, este material comienza a quemarse, carbonizarse y degradarse. Una particularidad importante de estos polímeros es que no poseen una temperatura de transición vítrea bien definida.

Elastómero

También se los llama hules y son polímeros amorfos de baja temperatura de transición vítrea. Son suaves, de módulo elástico bajo y pueden sufrir grandes deformaciones elásticas sin romperse al someterlos a alguna carga, pero luego de quitarla vuelven a su forma original (Kalpakjian y Schmid, 2008).

Polímeros en la industria Automotriz

El sector automovilístico siempre busca una buena eficiencia energética. La reducción del 10 % del peso vehicular, implica un ahorro de combustible de 3 a 4 %, así minimizando el impacto ambiental. Este es la razón para que los fabricantes tratan de incorporar materiales más livianos a la estructura de un auto. El contenido de plástico en un auto típico es de 8% del peso total. De este porcentaje las partes interiores de plástico tienen un 48%, las partes

exteriores un 27%, plásticos bajo del capo 14%, mientras que los sistemas eléctricos y cables tienen el 11%. Al transcurrir el tiempo se ha incrementado la utilización de plásticos en la fabricación de autos (Vidhyaa Karunanidhi, 2018).

En la tabla 3 se presenta algunos polímeros que se ocupan en un vehículo actual.

Tabla 3

Polímeros en un vehículo actual.

Polímero	Peso (Kg)	Porcentaje del peso global	Porcentaje del
		del vehículo	polímero
ABS	4.98	0.29	2.20
ABS-PC	6.43	0.37	2.83
ASA; SMA	0.73	0.04	0.32
PA	20.57	1.19	9.07
PBT; PET	8.61	0.50	3.80
PC	0.43	0.02	0.19
PE	15.17	0.88	6.69
PMMA	0.00	0.00	0.00
POM	0.87	0.05	0.38
PP	101.87	5.90	44.93
PU	18.88	1.09	8.32
UPR	0	0.00	0.00
Metal + plastic	16.67	0.97	7.35
Other plastic	31.55	1.83	13.91
Total	226.74	13.14	100

Fuente: (Koll, 2018)

El Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)

El ABS es un terpolímero, debido a que combina tres tipos de monómeros (acrilonitrilo-butadieno-estireno) para tener unas propiedades deseadas. Se aplica en materiales para plomería, acoplamientos, cascos, mangos de herramientas, teléfonos, equipajes, construcción de viviendas, componentes automovilísticos entre otras aplicaciones (Kalpakjian y Schmid, 2008).

El ABS es un polímero bifásico muy común y utilizado, el cual consiste en una continua fase rígida (copolímero de estireno-acrilonitrilo) y también otra fase de elastómero (polibutadieno injertado con estireno y acrilonitrilo). La fase de elastómero esta dispersada finamente en forma de partículas esféricas (Casale, Salvatore, y Pizzigoni, 1975).

Estructura del ABS

El ABS posee una combinación de un copolímero vítreo (estireno-acrilonitrilo) y un compuesto elástico (butadieno).

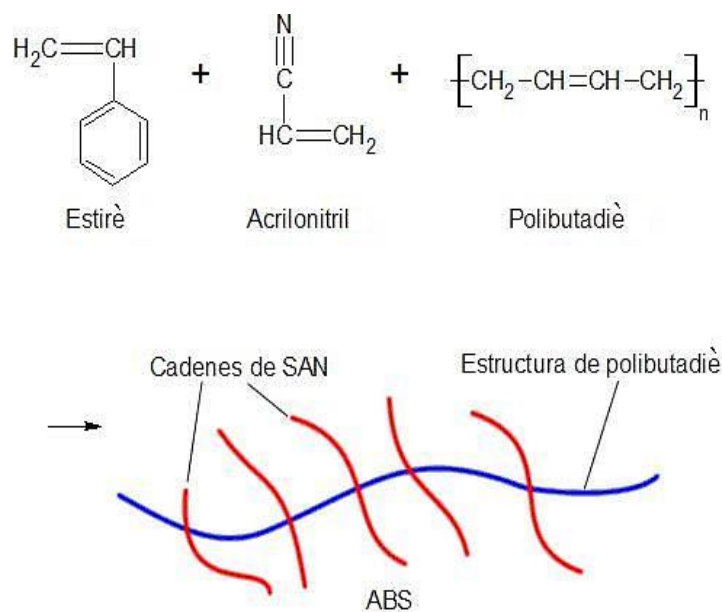


Figura 8. Estructura del ABS

Fuente: (Textos-Cientificos, 2006)

La fase elastómera del polibutadieno está inmersa dentro de una matriz rígida y dura de SAN (Estireno-acrilonitrilo). En la figura 8 se presenta la estructura del ABS.

Propiedades del ABS

El Acrilonitrilo Butadieno Estireno proporciona múltiples características como: rigidez, estabilidad dimensional, buena resistencia al impacto, a la abrasión y a productos químicos; también tiene tenacidad, buena resistencia a bajas temperaturas y alta resistencia eléctrica (Textos-Científicos, 2018).

La tabla 4 presenta información importante sobre las características que presenta el Acrilonitrilo Butadieno Estireno.

Tabla 4

Propiedades del ABS

Parámetro	Comportamiento
Resistencia a la Abrasión	Alta
Permeabilidad	Impermeable al agua Ligeramente permeable al vapor Los aceites no lo degradan por lo cual son
Propiedades relativas a la fricción	recomendados para para cojinetes sometidos a cargas y velocidades moderadas
Estabilidad dimensional	Alta
Pigmentación	La mayoría de resinas de ABS están disponibles en colores estándar

Facilidad de unión	Se unen fácilmente entre sí y con otros plásticos mediante cementos y adhesivos
Capacidad de absorción	Baja
Propiedades ambientales	La exposición prolongada al sol produce una capa delgada quebradiza, causando un cambio de color, reduciendo el brillo superficial y disminuyendo la resistencia a la flexión. La pigmentación en negro provee mayor resistencia a la intemperie.
Resistencia química	Generalmente buena. Pero depende del grado de resina, de la concentración química, temperatura y esfuerzo sobre las partes. En general no son afectadas por el agua, sales inorgánicas, álcalis, y por muchos ácidos.
Formado	Se adaptan bien a operaciones de formado. Al aplicar calor sobre los perfiles extruidos se pueden doblar y estampar cómodamente.
Facilidad de maquinado	Al ABS se lo pueden barrenar, fresar, torneear, aserrar y troquelar.
Acabados superficiales	Pueden ser acabados mediante metalizado al vacío y electro plateado. (Cromable).

Fuente: (OSSUR, 2018)

La información del ABS sobre la tensión de rotura (MPa), porcentaje de elongación (%) y módulo de tracción (MPa) se presenta en la tabla 5.

Tabla 5*Propiedades cuantitativas del ABS*

	Tensión de rotura	Alargamiento a	Módulo a tracción
Material	(MPa)	rotura (%)	(MPa)
ABS (Alto impacto)	38	8	2200

Fuente: (Fombuena Borràs, Fenollar Gimeno, y Montañes Moñoz, 2016)

Aplicaciones del ABS

Debido a sus buenas propiedades, el ABS se lo puede encontrar en diversos sectores productivos para lo cual se lo tiene esté material en distintas aplicaciones como:

- Carcasas de electrodomésticos y teléfonos
- Maletas
- Cascos deportivos
- Cubiertas internas de las puertas de refrigeradora.
- Carcasas de computadoras.
- Tubería sanitaria en sustituto del PVC.
- En la industria automotriz es muy utilizado en diversas partes debido a su capacidad de ser cromable.

Dentro del ámbito automotriz es muy utilizado el ABS debido a sus propiedades y características por lo cual comúnmente este polímero se lo puede encontrar en:

- Tableros
- Paragolpes
- Consolas
- Cobertores de puertas

- Parilla del radiador
- Cuna de faros
- Alojamiento del espejo
- Perfiles decorativos como tapacubos
- Spoilers
- Apoya brazos

La figura 9 presenta un componente automotriz en el cual se ha utilizado el ABS para su manufactura.



Figura 9. Parte automotriz utilizando ABS para su manufactura

Fuente: (QuimiNet, 2018)

Debido a que el ABS es ligero y fuerte para determinadas aplicaciones automotrices, hace que su empleo en esta industria sea cada vez más considerable porque disminuye el peso del vehículo y así contribuye a reducir el consumo de combustible, logrando con esto reducir la contaminación (Textos-Cientificos, 2018).

Los ABS para la impresión 3D

El termoplástico ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) es un material muy utilizado en la impresión 3D, muchas impresoras personales como la MarkerBolt, Ultimaker, Bits from Bytes entre otras lo utilizan. Comúnmente en rollos de filamento como se presenta en la figura 10.



Figura 10. Filamento de ABS de color negro utilizado en la manufactura aditiva

Fuente: (Tresding, 2018)

Las propiedades fundamentales del ABS son: su punto de fusión esta entre 200 a 250 °C, puede soportar temperaturas de -20 a 80 °C, no es biodegradable, resiste a los golpes debido a su estructura elastómera y la superficie luego de la impresión es lisa y brillante. Existe variedad de ABS, pero la que se utiliza para imprimir mediante depósito de filamento fundido es en bobinas de 1,75 mm o de 3 mm de diámetro de varios colores.

Polietileno (PE)

El Polietileno es un termoplástico de una estructura muy elástica, con buena recuperación al impacto. Resiste muchos agentes disolventes y ácidos. En el campo automotriz es muy utilizado en el parachoques (elchapista, 2018).

En la tabla 6 se presentan propiedades mecánicas del Polietileno.

Tabla 6

Propiedades cuantitativas del Polietileno (PE).

Material	Tensión de rotura (MPa)	Alargamiento a rotura (%)	Módulo a tracción (MPa)
Polietileno (PE)	14.7	500	157

Fuente: (textoscientificos, 2018)

Variación de las propiedades mecánicas del Polietileno al ser sometido a envejecido artificial.

En un estudio realizado sobre los efectos que sufre el Polietileno al ser expuestos a envejecido artificial mediante radiación ultravioleta presentó la variación que sufre el material en cuanto a su resistencia mecánica a la tracción y a el porcentaje de elongación.

El análisis presenta tres tipos de polietileno. El A1 tiene un aditivo pro-oxidante con una temperatura de fusión de 130 °C. El polietileno tipo A2 también tiene un aditivo pro-oxidante, sin embargo, su temperatura de fusión es de 129.6 °C. Finalmente, el tipo N2 no tiene un aditivo pro-oxidante y su temperatura de fusión es de 134.2 °C.

La figura 11 presenta el cambio porcentual del valor inicial de la resistencia mecánica que sufre el polietileno:

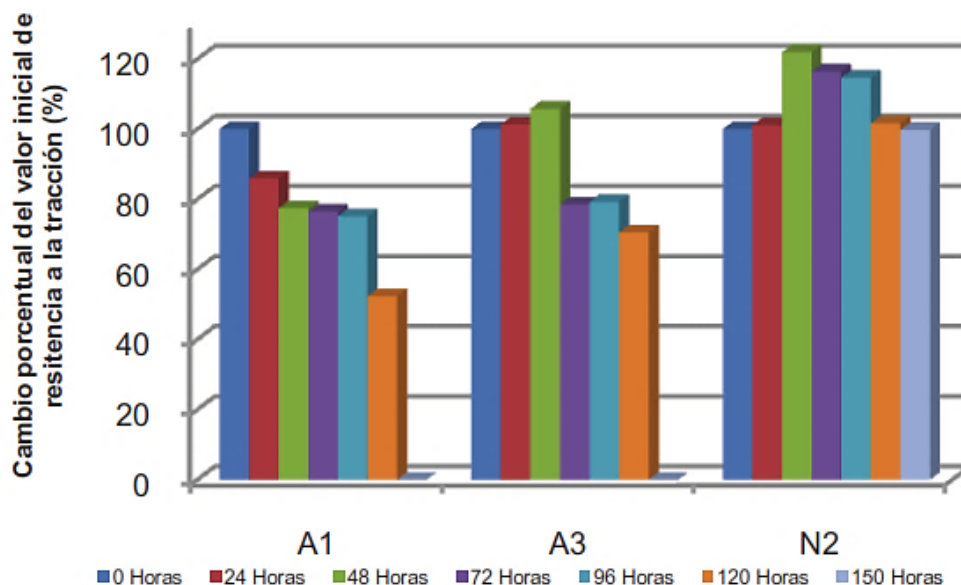


Figura 11. Cambio porcentual del valor inicial de resistencia a la tracción del Polietileno

Fuente: (Quiroz, Cadena, Sinche, Chango, & Aldás, 2009)

En la figura 12 se muestra el cambio porcentual del valor inicial de porcentaje de elongación del Polietileno al ser sometido a envejecido artificial.

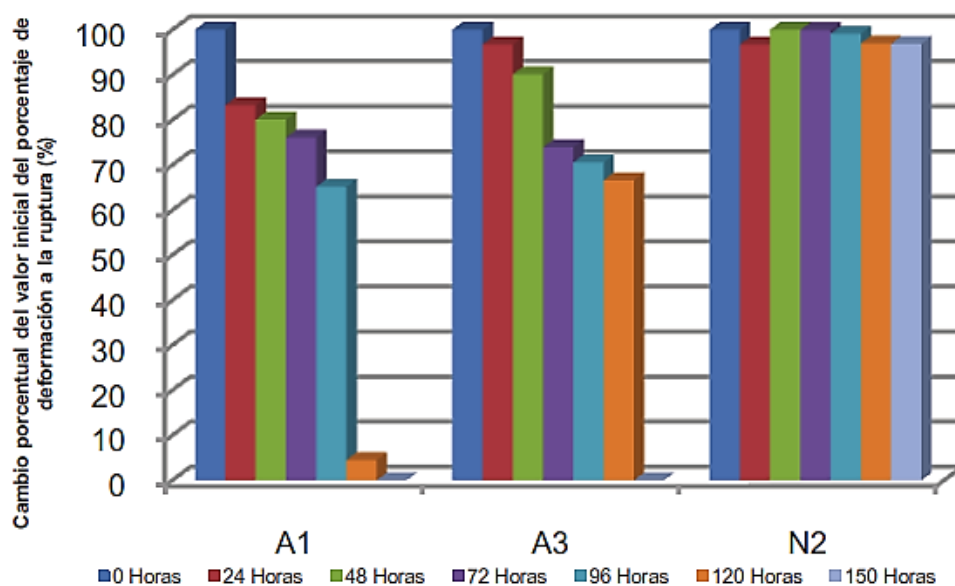


Figura 12. Cambio porcentual del valor inicial del porcentaje de elongación del Polietileno

Fuente: (Quiroz, Cadena, Sinche, Chango, & Aldás, 2009)

Radiación Solar

La radiación es la transferencia de energía a distancia mediante ondas electromagnéticas como luz visible, infrarrojo y radiación ultravioleta. La mayor parte de la energía de la tierra proviene del sol debido a la temperatura elevada a la que se encuentra. La radiación visible o luz se presenta a la vista mediante una mezcla de colores reconocibles como en el arco iris. Lo que diferencia un color de otro, es la longitud de onda.

En la figura 13 se puede visualizar la longitud de onda correspondiente para cada color.

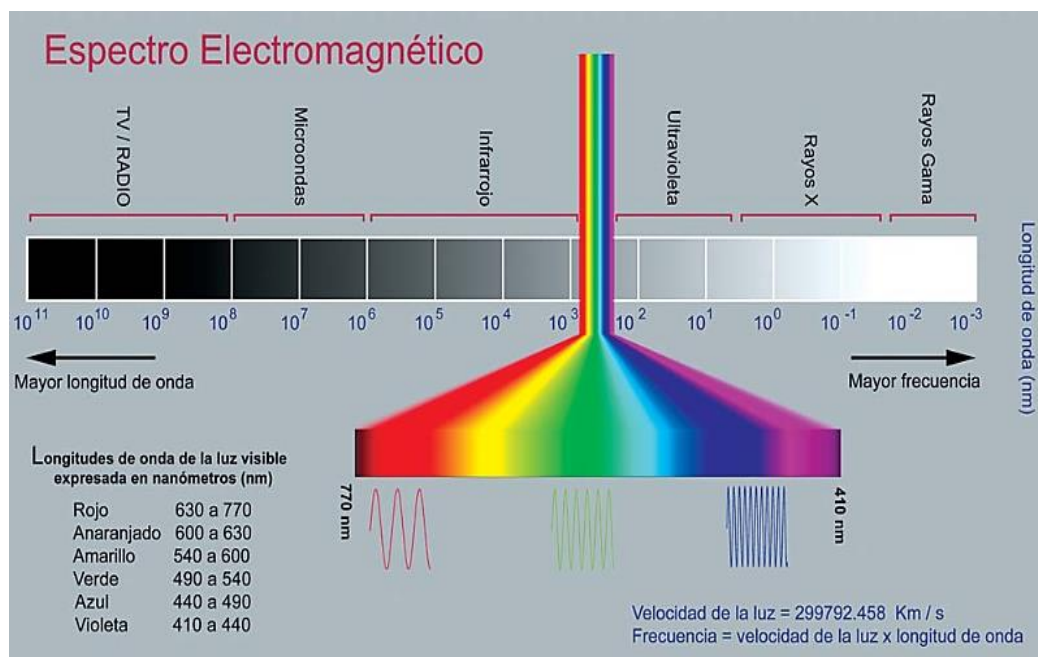


Figura 13. Espectro electromagnético, donde relaciona el color y la longitud de onda

Fuente: (Zaratti, 2003)

Radiaciones con longitud de onda más larga que del color rojo llegan también a la tierra provenientes del sol, a este tipo de radiación se la conoce como infrarrojo, y está asociada con el transporte de energía térmica o calor. Otro tipo de radiación que también la emite el sol es la ultravioleta que lleva longitudes de onda más cortas que el azul o el violeta y se extiende de 0.1 micras a 0.4 micras.

También existen radiaciones con longitud de onda más corta como los rayos gamma y los rayos X, llamadas radiaciones ionizantes debido a que pueden remover electrones del átomo por su alta energía. Mientras que con longitudes de onda más larga que la infrarroja se tienen las microondas y las ondas de radio respectivamente (Zaratti, 2003).

La Radiación Ultravioleta UV

La radiación ultravioleta no se la puede ver, pero si se la siente y sus longitudes de onda son menores a 400nm, se pueden dividir en los siguientes intervalos:

- UV-A (315 – 400 nm), produce envejecimiento
- UV-B (280 – 315 nm), produce quemadura
- UV-C (200 – 280 nm), denominada fracción cósmica
- UV-vacío (menor a 200 nm), se propaga principalmente en el vacío del espacio

Los niveles de radiación ultravioleta que llegan a la superficie terrestre son UV-A y en menor escala los UV-B. Mientras que los UV-C son absorbidos por el ozono, vapor de agua, oxígeno y dióxido de carbono por lo cual no llegan a la superficie terrestre (Secretaría de Ambiente, 2018).

La intensidad de radiación Ultravioleta depende de:

- La altura del sol; cuando más alto está el sol en el cielo entonces más intensa es la radiación UV, por lo cual la intensidad varía según la hora del día y época del año.
- La latitud; la radiación es más intensa cuanto más cerca del ecuador.
- La nubosidad; la intensidad es más elevada cuando no hay nubes.
- La altitud; con cada 1000 metros de incremento en la altitud la radiación aumenta de 10 a 12%.

- El ozono; la radiación es absorbida por el ozono sin embargo la concentración de ozono varia a lo largo del año e incluso del día.
- La reflexión por el suelo; diferentes tipos de superficies reflejan y dispersan la radiación como por ejemplo la nieve puede reflejar hasta un 80% de radiación UV.

La radiación ultravioleta en pequeñas cantidades puede resultar beneficioso para el ser humano, pero en cantidades elevadas es dañino (Organización Mundial de la Salud, 2003).

Radiación ultravioleta en Quito

La secretaria de ambiente de la ciudad de Quito realiza la medición de la radiación ultravioleta con un radiómetro de marca Biospherical Instruments Inc., modelo GUV-251. Este instrumento proporciona información de la irradiación a varias longitudes de onda con lo cual la secretaria de ambiente manifiesta información sobre el cuidado y precaución que las personas deben tener al exponerse a la luz solar del día.

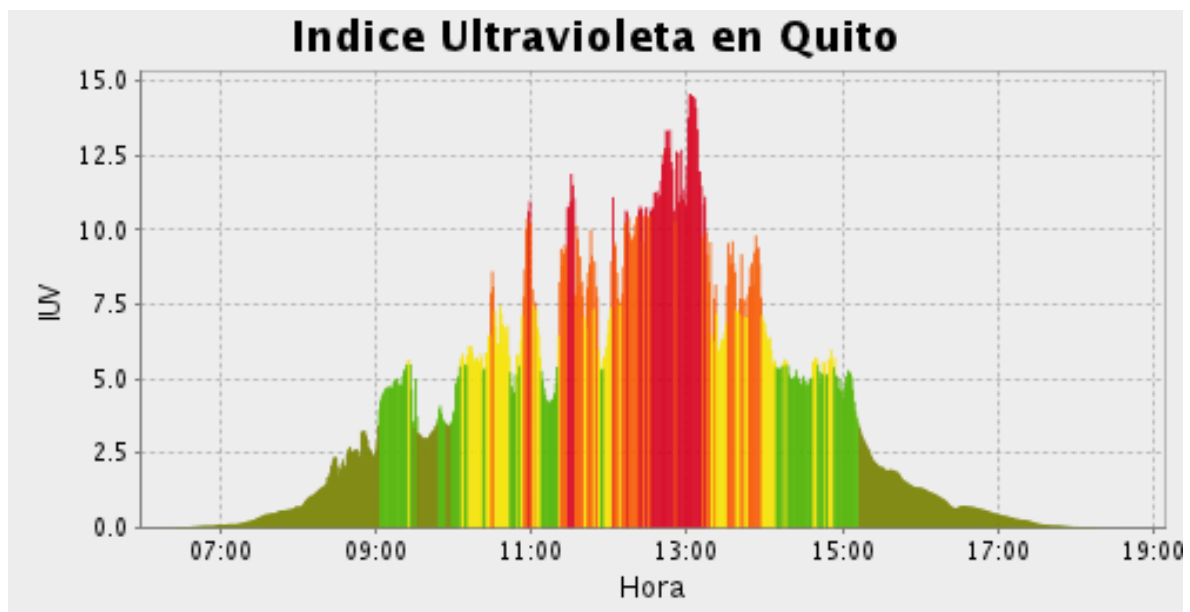


Figura 14. Índice Ultravioleta en Quito

Fuente: (Secretaria de Ambiente, 2018)

Generalmente la radiación ultravioleta (UV) en la ciudad de Quito, presenta valores que se pueden considerar, desde las 6:00 de la mañana hasta las 18:00 horas donde se tiene la luz solar presente. Los datos respectivos son representados mediante el Índice Ultravioleta (IUV), como se muestra en la figura 14.

Cabe mencionar que los valores más altos de radiación ultravioleta se presentan alrededor del mediodía, por lo cual se debe tomar precauciones adecuadas (Secretaria de Ambiente, 2018).

Degradación de polímeros

La degradación o envejecimiento de polímeros son los cambios que tienen estos materiales en sus propiedades al ser expuestos al ambiente que se encuentren (intemperismo). La degradación puede ser:

- Natural: en este tipo de degradación el polímero está sometido a elementos naturales o al uso que es destinado.
- Acelerada: Se somete al polímero a condiciones climatológicas diferentes a las que fue diseñado, repercutiendo en su vida útil.
- Artificial: Es un envejecido donde se somete al polímero a condiciones controladas de parámetros, se realizan en equipos que simulan un clima natural.
- Física: Implican todos los fenómenos que interactúan con los polímeros sin cambiar su estructura química. Considera dos fenómenos don el primero implica transferencia de más y el otro donde no la hay.
- Química: Implica cambio en la estructura del polímero expuesto a condiciones como: luz, temperatura, presencia o ausencia se oxígeno, disolventes, radiaciones y microorganismos.

Reacciones de degradación.

En la degradación de polímeros se rompen los enlaces de la cadena principal o de los grupos laterales.

Los tipos de degradación más importante son:

1. Degradación al azar: Hay ruptura de enlaces en la cadena principal en forma aleatoria.
2. Degradación de los enlaces débiles: Ocurre cuando las cadenas poliméricas contienen un carbón cuaternario.

La depolimerización tiene las siguientes etapas:

- a) Inicio en el final de la cadena
- b) Degradación
- c) Terminación de segundo orden, puede ser por desproporción y/o combinación.

(Uribe y Y. Mehrenberger, 2010)

La degradación polimérica involucra el cambio en el peso molecular debido a que existe reacciones complejas y ruptura de enlaces químicos. Las condiciones de uso de los polímeros influyen en los factores de degradación, como reactantes químicos se tiene: agua, oxígeno entre otros.

También influyen al polímero diversas formas de energía como calor, radiación y múltiples microorganismos.

De acuerdo a la forma de inicio de la degradación se puede dividir en:

- Fotodegradación
- Térmica

- Química
- Mecánica
- Biológica
- Radiación por alta energía

La fotodegradación

La fotodegradación también llamada degradación por radiación inducida se enfoca en los cambios químicos y físicos que sufren los polímeros debido a la radiación visible o ultravioleta (UV).

La radiación es absorbida por el material. Los grupos cromóforos acelerarán las reacciones fotoquímicas. Generalmente absorben ondas de UV debajo de 400nm. Por lo cual varios polímeros absorben radiación ultravioleta en el espectro electromagnético del sol causando un deterioro en las propiedades del material (Garcís Pérez, 2005).

El polímero debido a la fotodegradación cambia su estructura básica por cross-linking (reticulada), chain scission (escisión de la cadena) y procesos oxidativos. Los primeros dos procesos ocurren principalmente en la parte amorfa, mientras que la fotooxidación inicia en la superficie. La estructura cross-linking se la conoce como reticulada donde se tiene una cadena lineal con pocas cadenas cruzadas, mientras que el proceso chain scission o escisión de la cadena se refiere a la degradación de una cadena principal del polímero, esto sucede debido al rompimiento de la columna vertebral en un punto al azar, formando dos fragmentos.

La fotodegradación ocurre principalmente en la superficie del polímero sin embargo un factor importante es el espesor de las películas o laminas. En polímeros gruesos (espesor mayor a 1mm) el proceso se limita a una capa superficial delgada comúnmente de 100 μm a 1mm (Izdebska, 2016).

Una ayuda fundamental para conocer la reacción de los materiales ante el deterioro es el envejecimiento artificial. Esta es una prueba considerada como de corto plazo (Ortega, Blanco , y Cuevas, 1984).

Fotodegradación del ABS

Una desventaja importante en la utilización del ABS en la industria, es la disminución de la resistencia de este material a los rayos UV como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7

Particularidad de los plásticos de resistir a la radiación ultravioleta (UV) por su exposición al sol

Más resistentes	Resistentes	Menos Resistentes
Epóxicos	Poliamidas	Uretanos
Poliéster	Polietileno	ABS
Vinilos	Polipropileno	
Resinas fenólicas	Poliestireno	
Acrílicos	PVC	
Policarbonatos	Silicones	

Fuente: (Cornish, 1997)

Ensayos de intemperización acelerada

El propósito de estos ensayos es simular a escala de laboratorio condiciones de intemperie a los que van a estar expuestos los plásticos en un tiempo relativamente corto para verificar la resistencia en condiciones de servicio en un determinado tiempo.

También se puede confirmar la calidad del producto y observar si cumplen con normas de organismos de homologación.

Cámaras de ensayo.

“Las cámaras de ensayo son simuladores del entorno del objeto a ensayar y deben contener e integrar todos y cada uno de los sistemas que permitan variar a voluntad del ensayista el parámetro que controla” (Uribe y Y. Mehrenberger, 2010).

Se puede variar temperatura, radiación luminosa, cauda, presión barométrica entre otros factores al realizar el análisis de deterioro de los polímeros.

Existen diversas cámaras, según lo que se requiera estudiar, sin embargo para la degradación de polímeros las cámaras deben simular la influencia de la radiación solar, temperatura, humedad y lluvia por lo cual se debe contar con sistemas de: simulación de radiación solar por medio de lámparas UV, simuladores de lluvia, temperatura porcentaje de humedad relativa y porta-muestras giratoria.

Los parámetros para el deterioro del material son muy importantes por lo cual deben establecerse según la especificación del ensayo y características de las muestras que se pueden encontrar en las normas establecidas.

En la tabla 8 se presentan diversas normas para la degradación de polímeros mediante envejecimiento natural:

Tabla 8*Normas referentes a la degradación natural de polímeros.*

	DIN	ISO	BS	ASTM	NF	UNE
Métodos de exposición a la intemperie		4607	4618 Section 4.2	D-1435	T 51- 165	53-383
Cambios por exposición a la luz natural bajo vidrio	53.388	4582	2782 Method 540A	G-24	T 51- 185	53-384

Fuente: (Uribe y Y. Mehrenberger, 2010)

También se presentan normas que proporciona información sobre el ensayo de envejecimiento acelerado de polímeros, esta información se la puede observar en forma ordenada en la tabla 9.

Tabla 9*Normas referentes a la degradación acelerada de polímeros.*

	DIN	ISO	BS	ASTM	NF	UNE
Lámpara de Xenón	53.389	4892	2782 Method 540A	D-2565	T51- 056	
Lámpara de arco de carbón	53.389	4892	2782 Method 540A	D-1499		53.236
Lámpara fluorescente				D-4329		53-104

Fuente: (Uribe y Y. Mehrenberger, 2010)

Envejecido de piezas impresas en 3D

Los materiales que en la actualidad se utilizan para la impresión tridimensional no tienen una buena característica de conservación a largo plazo debido a que las piezas impresas en plástico pueden deformarse al transcurrir el tiempo al ser sometidas a condiciones de utilización, especialmente en exteriores (Berchon y Luyt, 2016).

Ensayo de tracción para la caracterización de materiales poliméricos

En este ensayo la probeta en su eje mayor es deformada a una velocidad constante y aplicando una determinada fuerza produciendo deformaciones hasta la rotura. Todos los esfuerzos se calculan con referencia a la sección transversal inicial de la probeta mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{F}{A_o} \quad (1)$$

En esta ecuación:

σ : Esfuerzo de tracción

F: Fuerza

A_o : Área de la sección transversal inicial de la probeta

La deformación en dirección del esfuerzo se la obtiene con la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o} \quad (2)$$

Donde:

ε : Deformación correspondiente

L_f : Longitud final de referencia de las probetas

L_0 : Longitud inicial de referencia de las probetas

El módulo elástico o módulo de Young se calcula con valores dentro de la zona elástica aplicando la ecuación presentada a continuación:

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (3)$$

Donde:

E_t : Módulo elástico

σ_2 y σ_1 : Esfuerzos en la zona elástica

ε_2 y ε_1 : Deformaciones porcentuales del material que corresponden a los esfuerzos σ_2 y σ_1

Para el ensayo de tracción hay varios factores determinantes como: el tipo de máquina de tracción, las mordazas, los indicadores de fuerza, el indicador de desplazamiento, el tipo de probeta; debido a esto es adecuado tener un alto conocimiento sobre la elaboración de este ensayo, con la finalidad de obtener resultados lo más confiables posibles al realizar este tipo de ensayo destructivo.

Cuando se realiza el ensayo de tracción los polímeros presentan ciertas curvas características en el diagrama esfuerzo – deformación; esto permite tener una apreciación de que propiedades va a tener en el polímero mediante una comparación de la curva esfuerzo – deformación que se describe al realizar el ensayo.

En la figura 15 se puede visualizar algunas curvas típicas del ensayo de tracción para los polímeros.

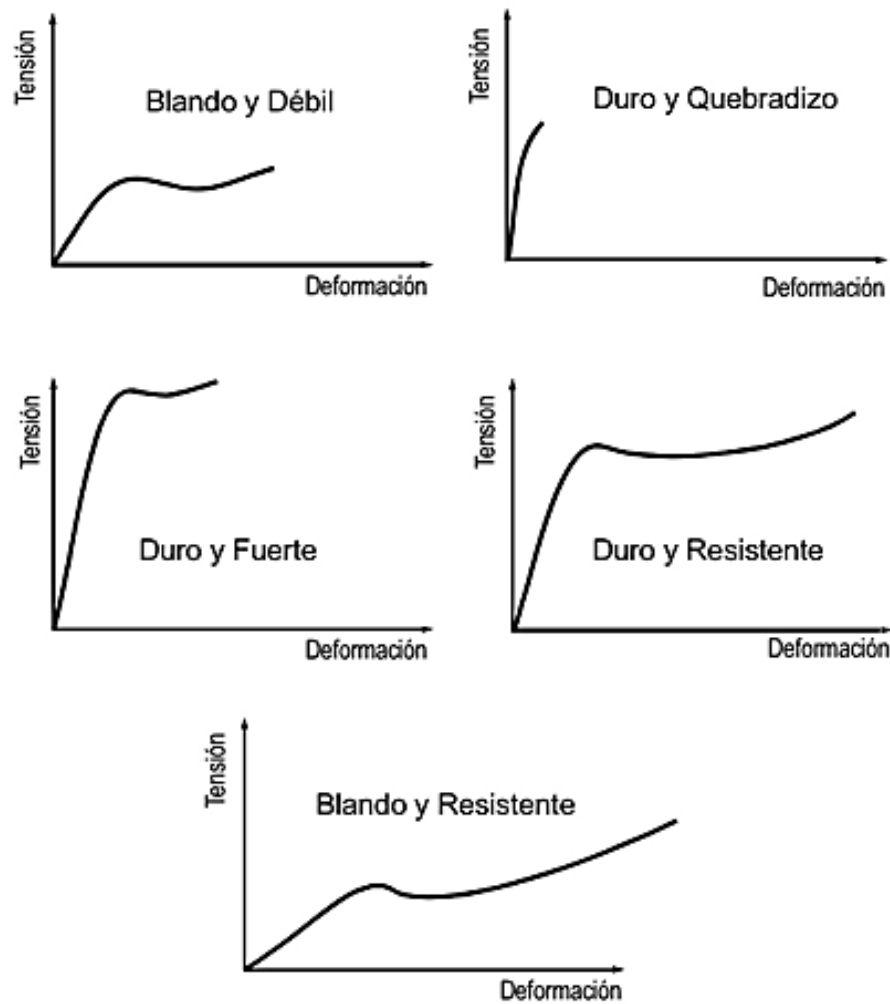


Figura 15. Curvas de tracción de plásticos con diferente comportamiento

Fuente: (Fombuena Borràs, Fenollar Gimeno, y Montañes Moñoz, 2016)

Acrilonitrilo Butadieno Estireno aplicado a una autoparte.

El polímero ABS en el sector automotriz es muy utilizado, sin embargo, en piezas expuestas a radiación solar se necesita que cumpla algunas especificaciones técnicas de resistencia. Adicionalmente el presente trabajo se enfoca en la obtención de piezas automotrices mediante manufactura aditiva.

En la figura 16 se observa distintas piezas automotrices exteriores, fabricadas con materiales poliméricos.



Figura 16. Partes automotrices externas fabricadas con polímeros

Fuente: (Koll, 2018)

El parachoques (bumper), es una autoparte de uso externo situado en la parte frontal o trasera del vehículo, el cual protege y amortigua la estructura del auto absorbiendo la energía cinética de una colisión con la finalidad de reducir los danos ocasionados (Loctite Terosson, 2018).

Uno de los plásticos utilizados en la fabricación del paragolpes es el polietileno (elchapista, 2018).

Los paragolpes o parachoques son componentes automotrices exteriores que van a estar expuestos a la intemperie en condiciones de servicio, adicionalmente por su geometría compleja se lo puede fabricar mediante manufactura aditiva.

En la figura 17 se muestra varios tipos de parachoques fabricados con materiales poliméricos.



Figura 17. Paragolpes de vehículos fabricadas con materiales poliméricos

Fuente: (Loctite Terosson, 2018)

Debido al tamaño del parachoques, se observa que es un elemento cuya superficie está expuesto a radiación solar, por lo cual los efectos que este agente ocasiona son muy importantes en el análisis de resistencia al deterioro.

Método

Para visualizar los cambios que puede sufrir el termoplástico ABS impreso en 3D ante la presencia de radiación ultravioleta se utilizó el método experimental, controlando y manipulando determinadas variables para observar cambios en otras variables que se necesiten datos.

La degradación de los componentes impresos mediante manufactura aditiva en material ABS lleva procesos secuenciales, por lo cual se tiene que seguir el procedimiento adecuado para obtener resultados satisfactorios. Se presenta a continuación el método a seguir para el presente proyecto:

Diseño de la geometría de las probetas

Las dimensiones de las probetas se las obtienen según lo expuesto en la norma D638 – 14 “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics”. Debido a que la teoría expone que los materiales poliméricos sufren cambios en su rigidez al ser expuestos a radiación ultravioleta se selecciona la geometría tipo IV y se la esquematiza el modelo 3D con la ayuda de AutoCAD. La figura 18 presenta las dimensiones de la probeta tipo IV.

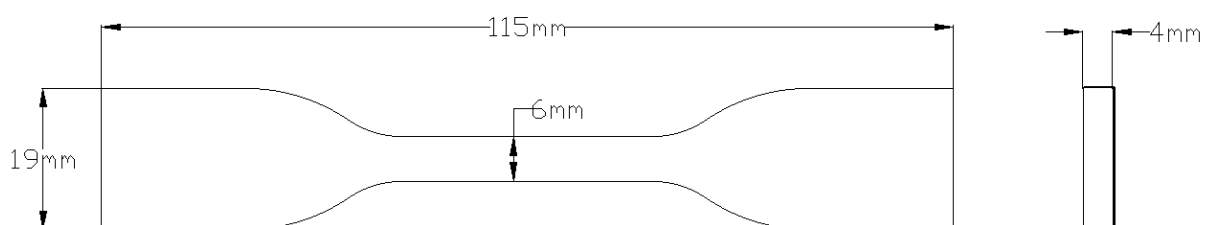


Figura 18. Geometría tipo IV según la norma D638 – 14

Creación del código mediante el software de procesamiento para la impresión 3D.

Slic3r

El programa Slic3R es un software gratuito de código abierto. Trabaja con un diseño tridimensional realizado en un programa CAD exportado a formato .stl, se lo procesa para obtener toda la información sobre la información en un código g (Printhatshit).

Para lo cual se configura los parámetros necesarios para la impresión como temperatura de la base, la dirección por la cual la impresora tiene que regirse, el material, el espesor y tipo de filamento entre los más importantes.

En la figura 19, muestra el programa Slic3r el recorrido que va tener al momento de imprimir las probetas.

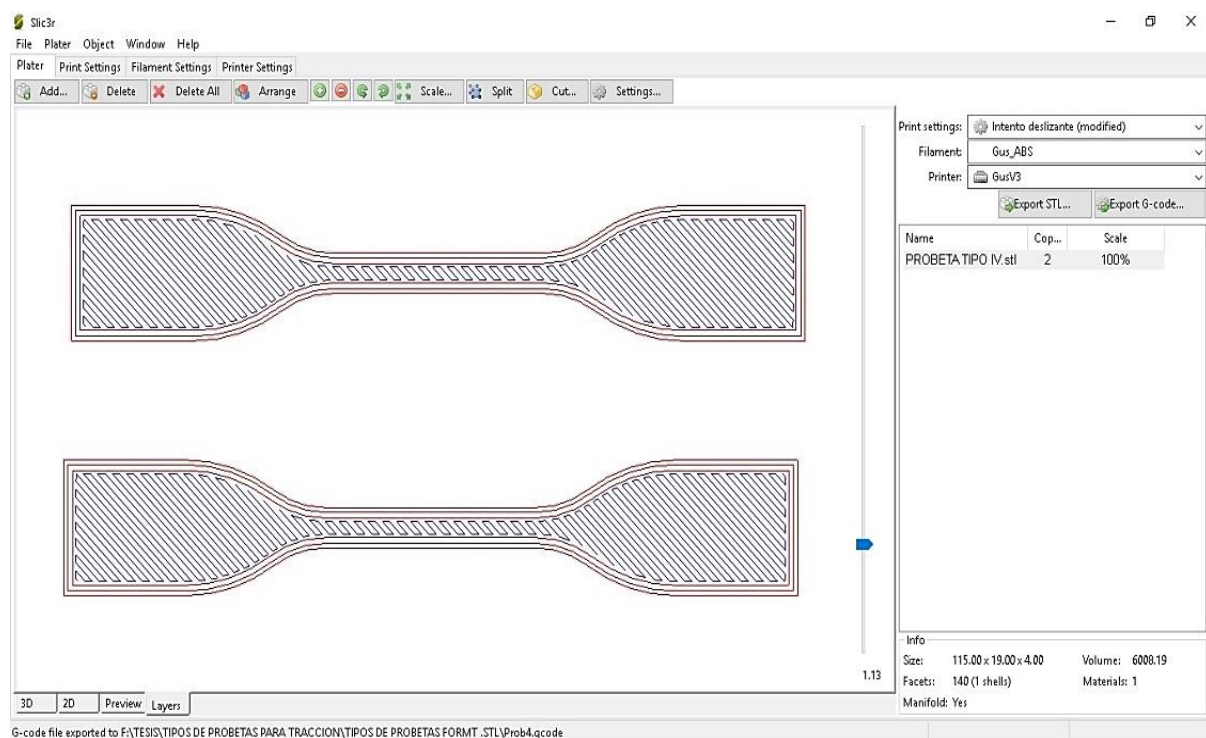


Figura 19. Recorrido de impresión 3D mediante Slic3r.

En la figura 20 se observa la vista previa de la disposición que van a tener las probetas a imprimirse en 3D sobre la base.

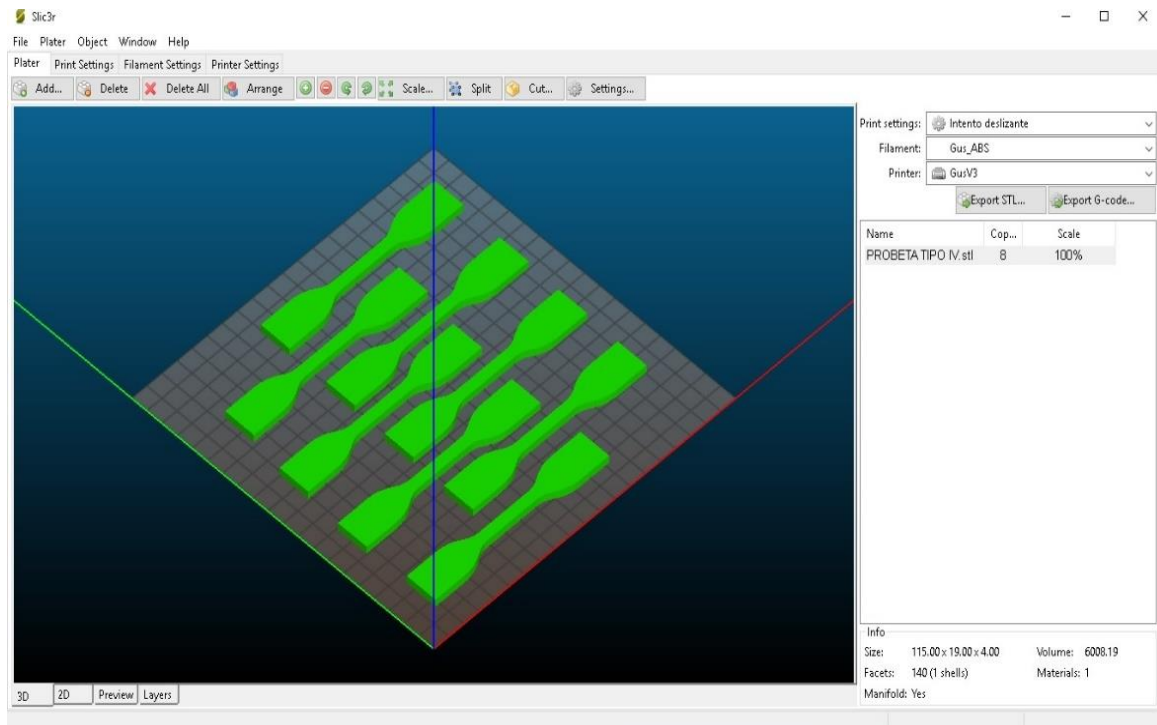


Figura 20. Disposición final de las probetas para la impresión mediante Slic3r.

Pronterface

El software pronterface permite controlarla a la impresora 3D. El proceso para imprimir es el siguiente:

- Conectar el cable de transmisión de datos entre la impresora y el computador.
- Ejecutar Pronterface y vincularlo a la impresora.
- Calentar la base de la impresión a 80°C para imprimir con material ABS.
- Calentar el extrusor a la temperatura de extrusión del filamento.
- Modificar la configuración del proterface.

- Cargar el archivo .gcode que se procesó utilizando el programa Slic3r.
- Empezar a imprimir (THINGIBOX ION).

La figura 21 muestra la Interfaz del software Pronterface, en la cual se visualiza la disposición de las probetas sobre la base que se obtuvo del programa Slic3r anteriormente descrito.

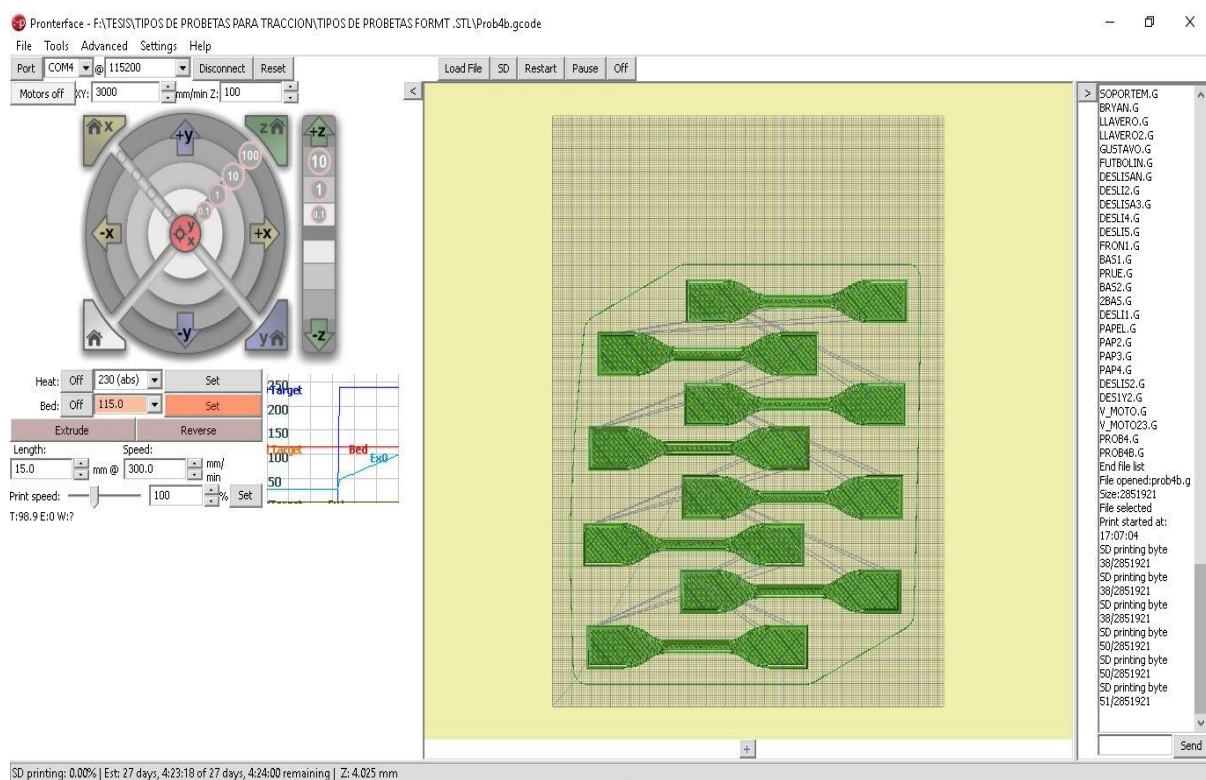


Figura 21. Interfaz del software Pronterface

Impresión 3D de las probetas

La geometría tridimensional del modelo CAD previamente realizado se la transforma a un formato compatible, normalmente STL. Con la ayuda del software libre Slic3r se obtiene la información del código G para la trayectoria y el posicionamiento en el momento de la

impresión. A continuación, en el programa Proterface se introduce el código G y se envía a imprimir el espécimen. La impresora 3D que se utiliza es la MakerGear M2 3D Printer la cual tiene alta calidad y precisión como principales características.

Algunas propiedades principales de la impresora 3D MakerGear M2 3D Printer se muestran en la tabla 10.

Tabla 10

Características de la impresora MakerGear M2 3D Printer

Dimensiones	200 mm x 250 mm x 200 mm
Materiales	1.75 mm PLA, ABS, PET, HIPS, HDPE, TPU (filament flexible), Policarbonato, materiales compuestos (metal, Fibra de carbono o madera), entre otros.
Temperatura máxima de extrusión	Calentador de 40 W y termistor con capacidad de 300 ° C.
Tecnología de impresión	FFF (Fused Filament Fabrication)
Movimiento X/Y	Ejes independientes con carriles lineales de alta precisión que guían el movimiento impulsado por correas reforzadas con Kevlar
Movimiento en Z	Barras de 10 mm guían el movimiento impulsado por el tornillo de avance.
Velocidad de desplazamiento del cabezal de impresión.	Impresión: 80 – 200mm/seg para una mejor calidad de impresión. Velocidad máxima: 450 mm/seg

Temperatura ambiente de impresión	15 a 32 °C
Temperatura de almacenamiento	0 a 32 °C
Peso de la máquina	12 kg

Fuente: (Makergear)

En la figura 22 se visualiza la impresora MakerGear M2 3D Printer utilizada para manufacturar los especímenes en material de ABS, mediante el proceso de manufactura aditiva.

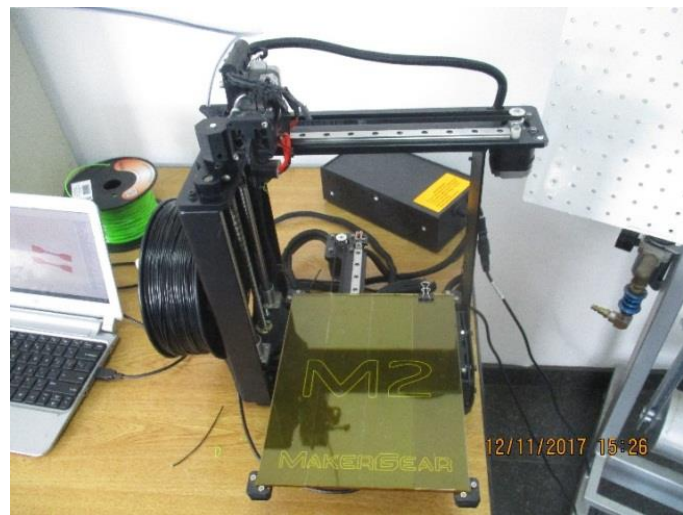


Figura 22. Impresora MakerGear M2 3D Printer.

A la impresora MakerGear M2 3D Printer se le proporciona los datos geométricos de la probeta que se los obtuvieron del modelo CAD y se transformaron a un código G para su procesamiento. Este procedimiento se lo realizó con la ayuda de los programas Slic3r y Pronterface respectivamente.

Con los todos los parámetros adecuados seleccionados, se procede con la impresión tridimensional como se muestra en la figura 23:



Figura 23. Impresión de las probetas tipo IV.

Envejecido artificial de las probetas de ABS

Para conocer la degradación de las piezas impresas en ABS se utilizará una máquina de envejecido artificial Q-SUN Xe-1-S observando cómo reacciona el polímero en estas circunstancias a diferentes tiempos. Para este procedimiento se utilizará la norma ASTM G155-13 “Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials”.

Debido a que se pretende enfocar el comportamiento del ABS en aplicaciones automotrices, se incorpora la norma ASTM D 2565 – 99 “Standard Practice for Xenon-Arc Exposure of Plastics Intended for Outdoor Applications” porque sugiere parámetros de exposición para partes automotrices exteriores y coinciden con sugerencias de la norma ASTM G155-13.

El presente estudio se enfoca en los efectos que causa la radiación ultravioleta por lo cual se selecciona los parámetros expuestos en la tabla 11.

Tabla 11

Parámetros para el ensayo de envejecido artificial

Temperatura °C	Irradiación típica	Usos típicos
70	0.55 W/m ² a 340nm	Partes automotrices exteriores

Fuente: Standard Practice for Xenon-Arc Exposure of Plastics Intended for Outdoor Applications

Con las probetas tipo IV impresas en 3D con ABS, se las dispuso en la cámara de envejecido artificial para someterlas a radiación ultravioleta simulando el deterioro del polímero a condiciones de intemperie.

Para verificar los cambios graduales a darse en el material ABS impreso en 3D se dispuso que las probetas sean sometidas a 100, 200, 300, 400 y 450 horas de envejecido en la cámara de xenón.

Las probetas de ABS luego de realizado el envejecido artificial con diferentes tiempos de exposición, se las sometió al ensayo de tracción donde, fue necesario la utilización de 5 probetas para cada muestra, es por eso que se las codifico para evitar errores o confusiones.

La figura 24 muestra las probetas impresas mediante manufactura aditiva con material ABS, dispuestas en la cámara de envejecido artificial.



Figura 24. Probetas expuestas en la cámara de Xenón.

A las probetas se las identifico con los números 0, 100, 200, 300, 400 y 450 que representan las horas de exposición de radiación ultravioleta. Adicionalmente se marca el número del espécimen en este caso del 1 al 5. Este procedimiento se lo realizó en todas las probetas para tener diferenciación de las muestras a ser ensayadas. Luego del ensayo de radiación ultravioleta por medio de lámparas de xenón, a las probetas a distintos tiempos se las retiró de la cámara de envejecido.

En la figura 25 se visualiza la máquina Q-SUN Xe – 1 – S, utilizada para el envejecido artificial mediante radiación ultravioleta proveniente de lámparas de xenón.



Figura 25. Probetas en la máquina Q-SUN Xe-1-S.

Estimación del tiempo simulado a intemperismo natural en función del tiempo real de exposición a radiación ultravioleta en la cámara de envejecido artificial.

Para tener una referencia de la cantidad de radiación ultravioleta a la que fueron expuestas las probetas en la cámara de envejecido artificial versus la radiación encontrada en la intemperie, se tiene la información que proporciona la secretaria de ambiente de la ciudad de Quito.

La figura 26 presenta la curva característica de la incidencia de radiación ultravioleta de un determinado día en la ciudad de Quito.

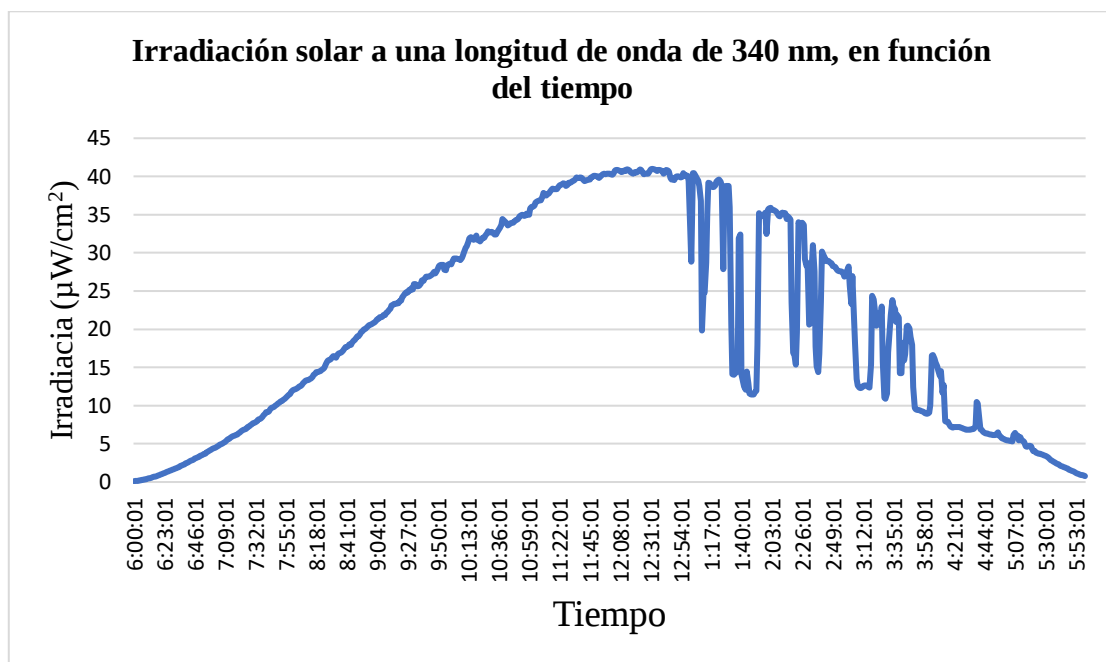


Figura 26. Irradiación solar ultravioleta en Quito del 7 de junio del 2018

Fuente: (Secretaria de Ambiente, 2018)

Con los datos de la irradiancia solar a una longitud de onda de 340nm, obtenidos de la Secretaria de Ambiente de Quito, se tomó la información correspondiente a los meses desde enero hasta junio del 2018 para tener un valor promedio.

Se tomaron únicamente valores que corresponden desde las seis de la mañana hasta las 18:00 horas debido a que en ese rango de tiempo es donde incide la radiación ultravioleta en la superficie terrestre, así se lo puede observar en la figura 26.

El valor promedio de la irradiación ultravioleta es de $19.09 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, que corresponde a $0.1909 \text{ W}/\text{m}^2$ según la tabla 12.

Tabla 12

Irradiación ultravioleta promedio en la ciudad de Quito

Mes	Irradiancias $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Enero	20.89
Febrero	22.82
Marzo	20.15
Abril	16.82
Mayo	16.26
Junio	17.6
Promedio	19.09

Para tener una relación cercana del tiempo de exposición a radiación ultravioleta en la cámara de xenón con el tiempo de exposición en condiciones de intemperismo natural se tiene la tabla 13.

Tabla 13

Razón entre la irradiancia en la cámara de envejecido y el valor promedio que incide en la ciudad de Quito

Radiación UV (W/m ²)		Razón
Cámara de xenón	Valor promedio en la intemperie	
0.55	0.1909	2.88

Con la razón de 2.88 se estima el tiempo simulado de exposición a radiación ultravioleta en intemperismo natural presentada en la tabla 14:

Tabla 14

Tiempo simulado a intemperismo natural en función del tiempo real de exposición a envejecido artificial

Tiempo real de exposición a la cámara de xenón (Horas)	Tiempo simulado de intemperismo natural (Semanas)
50	1.7
100	3.4
150	5.1
200	6.9
250	8.6
300	10.3
350	12.0
400	13.7
450	15.4
500	17.1
600	20.6
700	24.0

Ensayo de tracción

A las probetas expuestas al envejecido artificial se les realiza el ensayo de tracción para observar sus cambios en su resistencia. Para este procedimiento se utilizó la norma D638 “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics”.

Para este tipo de ensayo destructivo se utiliza la máquina universal de marca Instron, la cual tiene conexión directa con la computadora proporcionando resultados más rápidos y óptimos.

La figura 27 presenta la máquina Instron utilizada para el ensayo de tracción de las probetas que se analizaron.



Figura 27. Máquina Instron utilizada para el ensayo de tracción.

Las pruebas de tracción de deformación en un sentido se las realizó en una máquina universal a una velocidad constante de desplazamiento de 50 mm/min, con una temperatura de ensayo de 18 °C.

Resultados

Obtención de las probetas de ABS mediante la impresión 3D

Con el modelo CAD y luego de realizar los todos los procesos para la impresión 3D se obtuvieron especímenes tipo IV, como lo muestra la figura 28. Con estas probetas se realizó todo el análisis al introducirlas al equipo de envejecido artificial y luego a los ensayos de tracción correspondiente.



Figura 28. Probeta tipo IV de ABS impresa en 3D

En la figura 29 se presenta todas las probetas que se sometieron al ensayo de envejecido artificial en la cámara de radiación ultravioleta.



Figura 29. Probetas impresas en 3D para el envejecido artificial.

Ensayo de envejecido artificial mediante radiación ultravioleta de la cámara de xenón.

En la figura 30 se puede observar las cinco probetas que no fueron expuestas a radiación ultravioleta en la cámara de lámparas de xenón. Estos especímenes son un patrón de comparación con las probetas que si fueron envejecidas.



Figura 30. Probetas con 0 horas de exposición a radiación ultravioleta.

Las probetas de ABS de color negro sin envejecido artificial muestran claramente el recorrido que realizó la impresora 3D para su manufactura, no presentan alteraciones y su color especificado está bien definido de forma constante en todas las probetas.

En la figura 31 se puede visualizar los 5 especímenes luego de estar expuestos a 100 horas de radiación ultravioleta en la cámara de envejecido artificial por medio de lámparas de xenón. Cada probeta se encuentra adecuadamente identificada como se lo puede comprobar en la imagen respectiva.



Figura 31. Probetas con 100 horas de exposición a radiación ultravioleta.

Luego de 100 horas de exposición a radiación ultravioleta y de realizar una inspección visual no se aprecia considerablemente cambios en la textura de las probetas, pero si una ligera decoloración.

En la figura 32 se puede visualizar a las probetas que fueron expuestas a 200 horas de radiación ultravioleta en la cámara de envejecido artificial. Cada una con su respectiva identificación.



Figura 32. Probetas con 200 horas de exposición a radiación ultravioleta.

La apariencia visual de las cinco probetas presentadas en la figura 32 sigue sin mostrar cambios en la textura superficial, pero si una tenue decoloración.

Las probetas envejecidas en un tiempo de 300 horas por medio de radiación ultravioleta mediante lámparas de xenón se las puede observar en la figura 33. Todas con su respectiva marca de identificación.



Figura 33. Probetas con 300 horas de exposición a radiación ultravioleta.

Las probetas envejecidas durante un tiempo de 300 horas muestran una tenue decoloración superficial, pero no es posible visualizar cambios en la textura de las cinco probetas sujetas al análisis.

En la figura 34 se puede observar las cinco probetas luego de estar expuestas a 400 horas de radiación ultravioleta por medio de lámparas de xenón en la cámara de envejecido artificial.



Figura 34. Probetas con 400 horas de exposición a radiación ultravioleta.

La decoloración de las probetas presentadas en la figura 34 es muy tenue con relación a las que se envejecieron durante menores tiempos de exposición. La textura de estas probetas sigue sin tener cambios que se pueden observar.

En la figura 35 se puede visualizar los 5 especímenes luego de estar expuestos a 450 horas de radiación ultravioleta en la cámara de envejecido artificial.



Figura 35. Probetas con 450 horas de exposición a radiación ultravioleta.

La imagen de las probetas envejecidas a 450 horas por medio de radiación ultravioleta muestra una tenue decoloración. Sin embargo, hasta el tiempo mencionado de envejecido la textura de las cinco probetas sigue sin mostrar cambios observables.

Resultados del ensayo de tracción a las probetas de ABS impresas en 3D

A todas las probetas de Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) se las sometió al ensayo destructivo de tracción, para obtener información sobre sus propiedades mecánicas.

La Figura 36 muestra las curvas esfuerzo – deformación de las 5 probetas traccionadas que no tenían envejecido artificial. Se puede visualizar la curva resultante de cada probeta, diferenciándolas una de otras por su respectivo color.

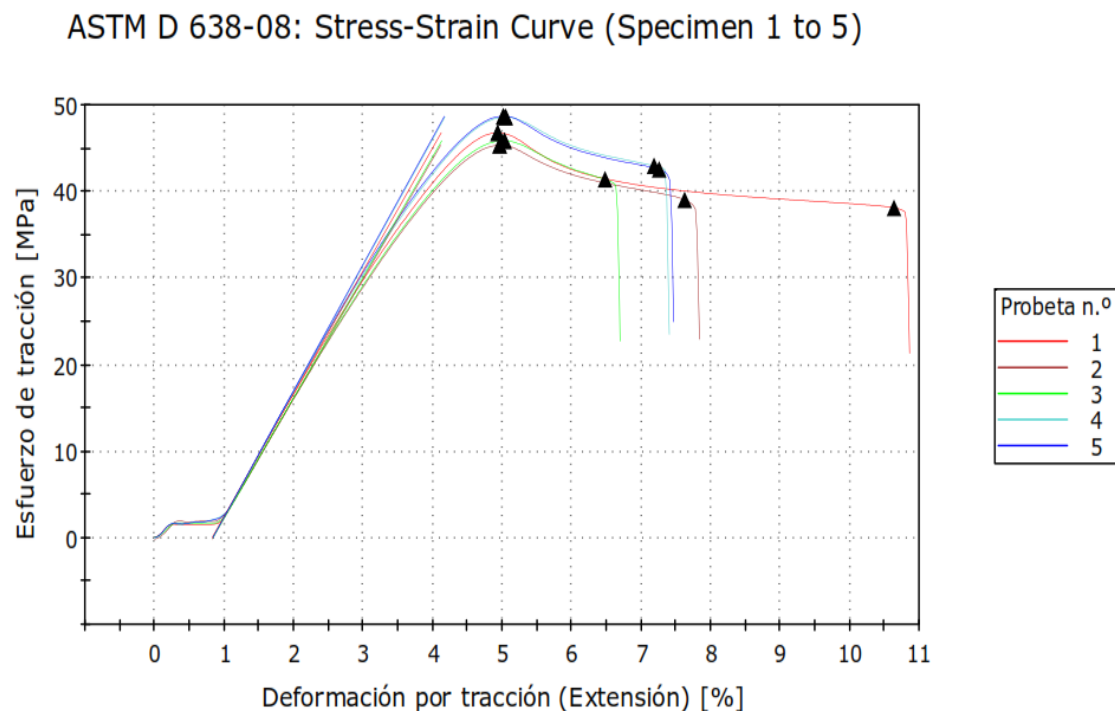


Figura 36. Curva esfuerzo – deformación con 0 horas de exposición a radiación ultravioleta.

La tabla 15 presenta los resultados de la resistencia a la tracción en MPa y el porcentaje de elongación de las probetas que no fueron expuestas a radiación ultravioleta mediante la cámara de envejecido. También presenta el promedio de esfuerzo que tiene el material y su

respectiva desviación estándar para conocer el grado de dispersión de los datos obtenidos luego de realizado el ensayo destructivo.

Tabla 15

Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación de las probetas a 0 horas de envejecido artificial

Probetas	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación (%)	Espesor (mm)
Probeta 1	38.1	10.6	4.1
Probeta 2	39.0	7.6	4.3
Probeta 3	41.4	6.5	4.3
Probeta 4	43.0	7.2	4.1
Probeta 5	42.6	7.3	4.1
Promedio	40.8	7.8	4.2
Desviación estándar	2.2	1.6	0.1

De las probetas impresas mediante manufactura aditiva en ABS de color negro sin envejecido artificial se tiene una resistencia a la tracción promedio de 40.8 MPa y un porcentaje de elongación de 7.8 respectivamente.

La Figura 37 muestra las curvas esfuerzo – deformación de las 5 probetas traccionadas, que fueron envejecidas artificialmente durante 100 horas de exposición a radiación ultravioleta. Cada curva presenta su comportamiento característico y se diferencian por su color.

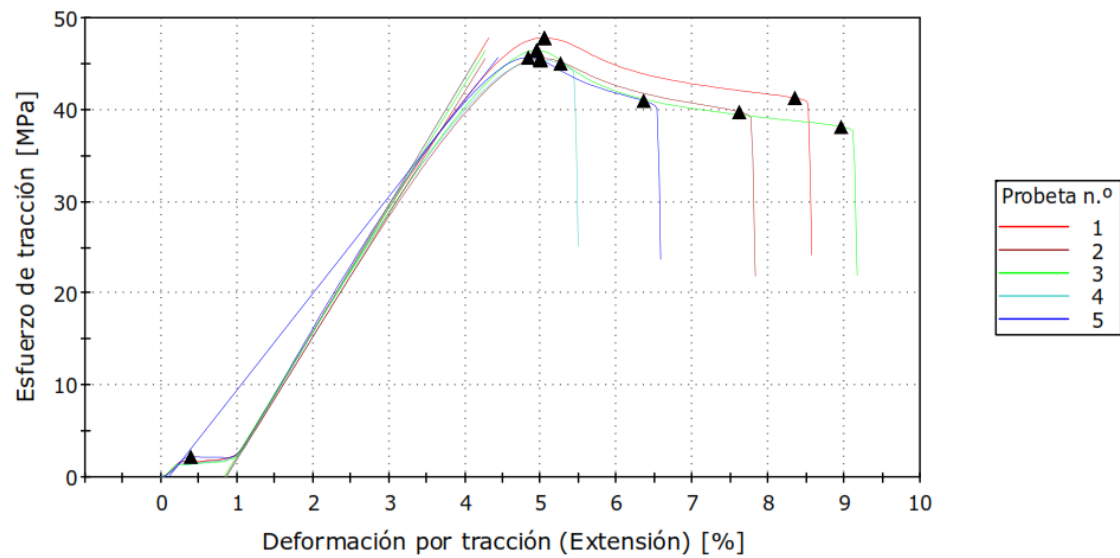


Figura 37. Curva esfuerzo – deformación con 100 horas de exposición a radiación ultravioleta.

Se presenta en la tabla 16 los resultados de la resistencia a la tracción en MPa y el porcentaje de elongación de las probetas que un fueron expuestas a 100 horas de radiación ultravioleta.

Tabla 16

Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación de las probetas a 100 horas de envejecido artificial

Probetas	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación (%)	Espesor (mm)
Probeta 1	41.3	8.3	4.1
Probeta 2	39.8	7.6	4.2
Probeta 3	38.1	9.0	4.1
Probeta 4	45.0	5.3	4.2
Probeta 5	41.0	6.4	4.2
Promedio	41.0	7.3	4.2
Desviación estándar	2.5	1.5	0.1

Luego de 100 horas de exposición a radiación ultravioleta el promedio de las probetas ensayadas es de 41 MPa para la resistencia a la tracción y de 7.3 en el porcentaje de elongación.

La Figura 38 muestra las curvas esfuerzo – deformación de las probetas traccionadas, que fueron envejecidas a 200 horas de exposición a radiación ultravioleta.

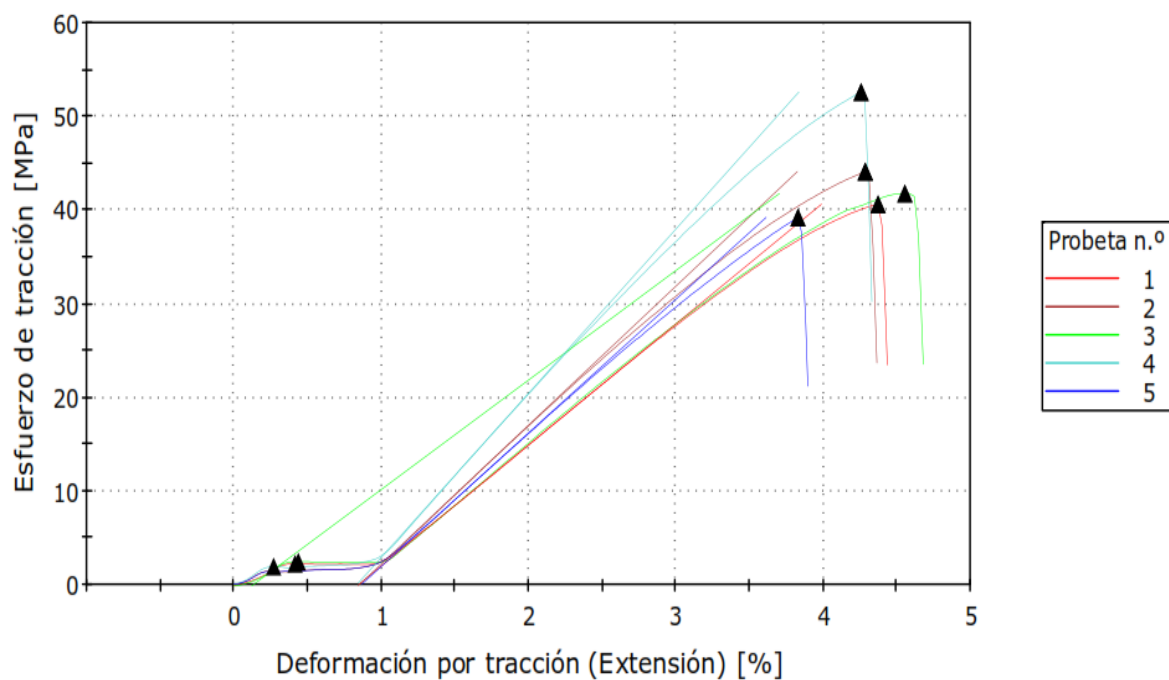


Figura 38. Curva esfuerzo – deformación con 200 horas de exposición a radiación ultravioleta.

Se presenta en la tabla 17 los resultados obtenidos de la resistencia a la tracción en MPa y del porcentaje de elongación de las probetas que un fueron expuestas a 200 horas de radiación ultravioleta. La resistencia a la tracción promedio de las cinco probetas es de 43.7 MPa mientras que el porcentaje de elongación promedio es de 4.3 respectivamente.

Tabla 17

Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación de las probetas a 200 horas de envejecido artificial

Probetas	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación (%)	Espesor (mm)
Probeta 1	40.6	4.4	4.4
Probeta 2	44.1	4.3	4.2
Probeta 3	41.8	4.6	4.4
Probeta 4	52.6	4.3	3.5
Probeta 5	39.2	3.8	4.1
Promedio	43.7	4.3	4.1
Desviación estándar	5.3	0.3	0.4

La Figura 39 muestra las curvas esfuerzo – deformación de las 5 probetas traccionadas, envejecidas a 300 horas de exposición a radiación ultravioleta.

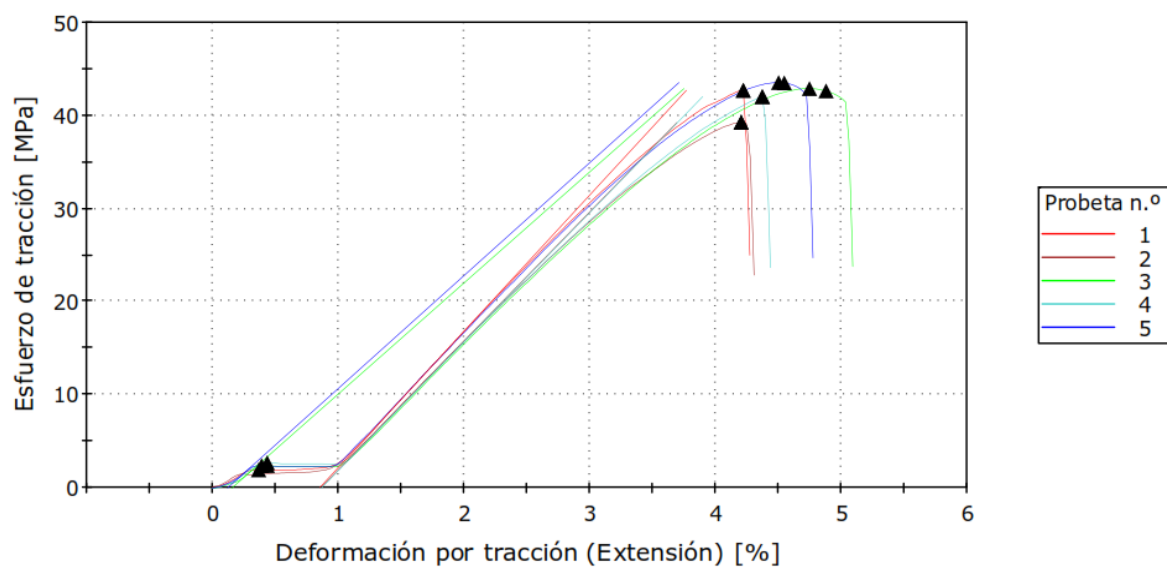


Figura 39. Curva esfuerzo – deformación con 300 horas de exposición a radiación ultravioleta.

La tabla 18 muestra los resultados de la resistencia a la tracción en MPa y el porcentaje de elongación de las probetas que un fueron expuestas a 300 horas de radiación ultravioleta.

Tabla 18

Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación de las probetas a 300 horas de envejecido artificial

Probetas	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación (%)	Espesor (mm)
Probeta 1	42.7	4.2	4.2
Probeta 2	39.3	4.2	4.4
Probeta 3	42.6	4.9	4.2
Probeta 4	42.0	4.4	4.3
Probeta 5	43.5	4.5	4.2
Promedio	42.0	4.4	4.3
Desviación estándar	1.6	0.3	0.1

La resistencia a la tracción promedio luego de 300 horas de exposición a radiación ultravioleta en la cámara de envejecido artificial es de 42 MPa, mientras que se tiene el valor de 4.4 en el porcentaje de elongación.

En la figura 40 se visualiza las curvas esfuerzo – deformación que presenta el ensayo de tracción, luego que los cinco especímenes fueron envejecidos durante un tiempo de 400 horas de exposición a radiación ultravioleta. Las curvas características de cada probeta se las puede diferenciar por su color.

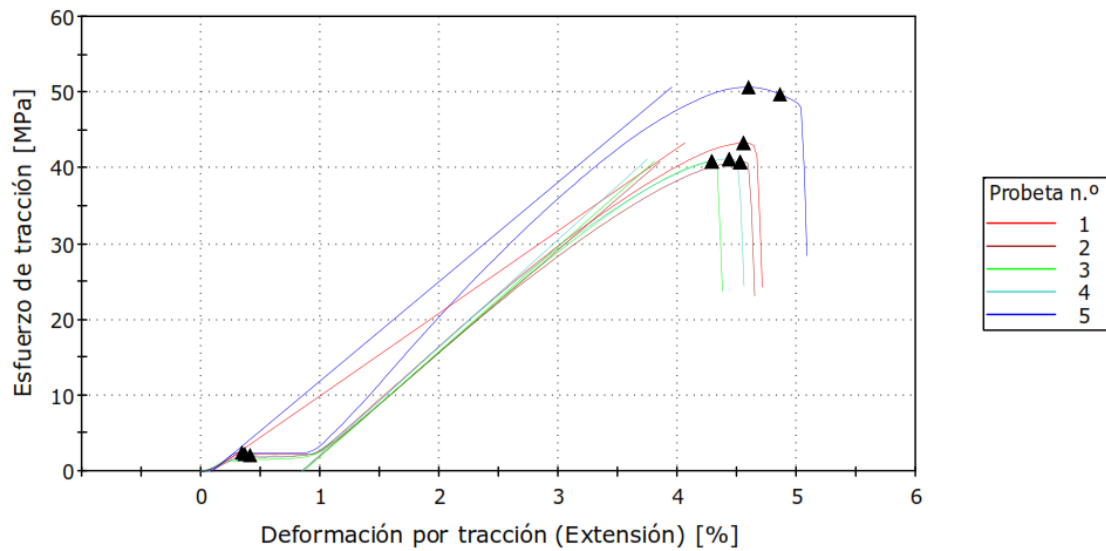


Figura 40. Curva esfuerzo – deformación con 400 horas de exposición a radiación ultravioleta.

Se presenta en la tabla 19 los resultados de la resistencia a la tracción en MPa y el porcentaje de elongación de las probetas que un fueron expuestas a 400 horas de radiación ultravioleta.

Tabla 19

Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación de las probetas a 400 horas de envejecido artificial

Probetas	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación (%)	Espesor (mm)
Probeta 1	43.3	4.6	4.2
Probeta 2	40.8	4.5	4.3
Probeta 3	40.9	4.3	4.2
Probeta 4	41.2	4.4	4.3
Probeta 5	49.7	4.9	3.5
Promedio	43.2	4.5	4.1
Desviación estándar	3.8	0.2	0.3

La tabla 19 presenta valores de la resistencia a la tracción promedio luego de 400 horas de exposición a radiación ultravioleta en la cámara de envejecido artificial de 43.2 MPa, mientras que se tiene el valor promedio de 4.5 en el porcentaje de elongación luego de realizado el ensayo.

La Figura 41 muestra las curvas esfuerzo – deformación de las 5 probetas traccionadas, envejecidas a 450 horas de exposición a radiación ultravioleta.

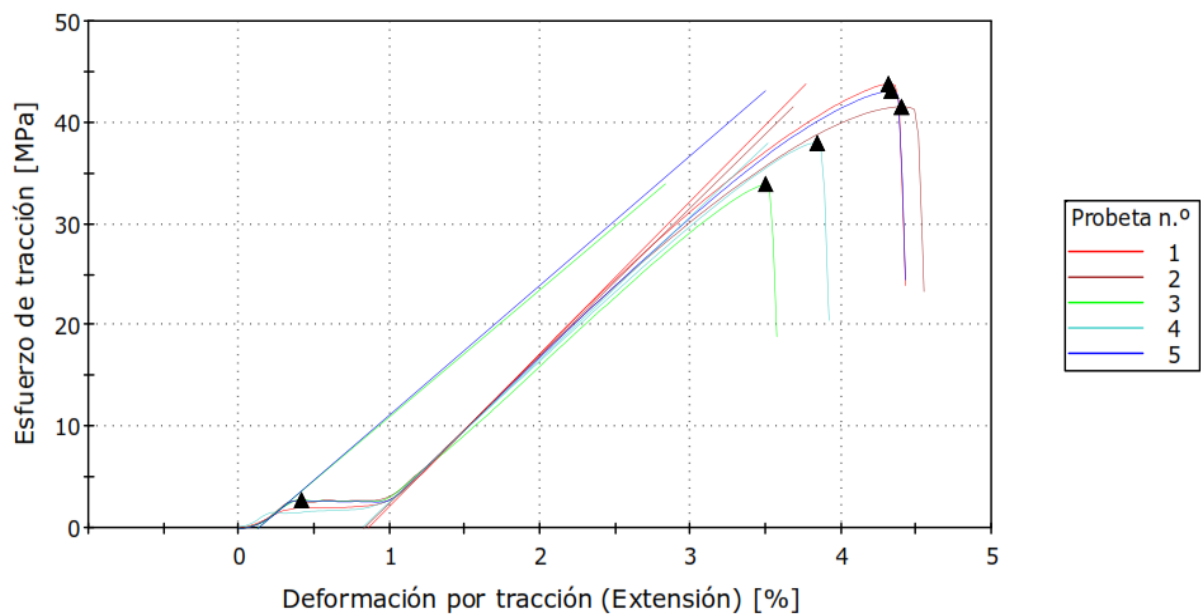


Figura 41. Curva esfuerzo – deformación con 450 horas de exposición a radiación ultravioleta.

Se presenta en la tabla 20 los resultados de la resistencia a la tracción en MPa y el porcentaje de elongación de las probetas que un fueron expuestas a 450 horas de radiación ultravioleta.

Tabla 20

Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación de las probetas a 450 horas de envejecido artificial

Probetas	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación (%)	Espesor (mm)
Probeta 1	43.8	4.3	4.1
Probeta 2	41.5	4.4	4.1
Probeta 3	33.9	3.5	4.1
Probeta 4	37.9	3.8	4.1
Probeta 5	43.1	4.3	4.1
Promedio	40.0	4.1	4.1
Desviación estándar	4.1	0.4	0.0

La tabla 20 presenta valores donde la resistencia a la tracción promedio luego de 450 horas de exposición a radiación ultravioleta en la cámara de envejecido artificial es de 40 MPa, mientras que se tiene el valor de 4.1 en el porcentaje de elongación.

Resultados del Cambio porcentual del valor inicial de resistencia a la tracción y del porcentaje de elongación del ABS impreso en 3D al ser envejecido artificialmente, para compararlo con el polietileno utilizado en la fabricación de parachoques de vehículos.

La figura 42 muestra la variación del cambio porcentual del valor inicial de la resistencia a la tracción del ABS impreso en 3D al ser sometido a envejecido artificial mediante radiación ultravioleta a diferentes tiempos de exposición.

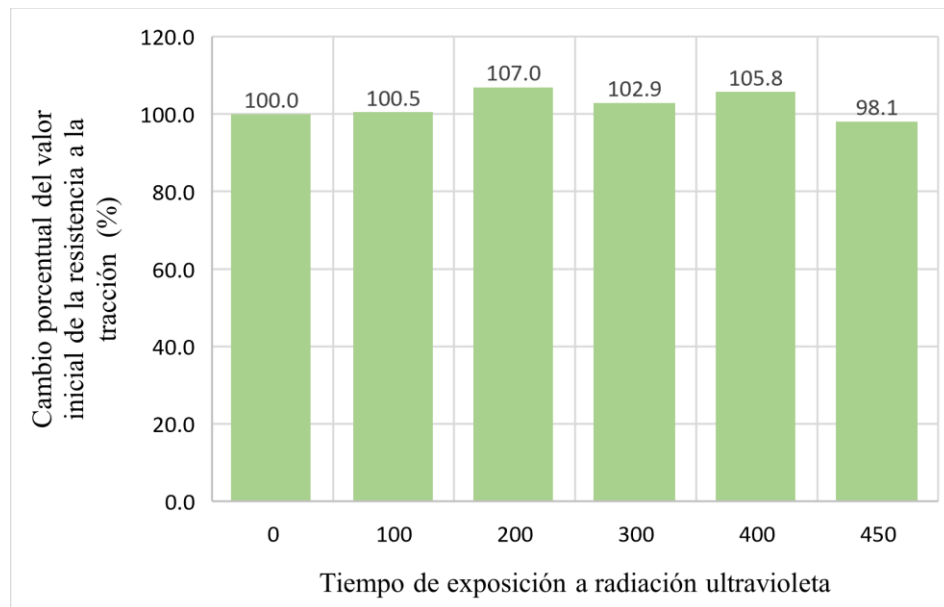


Figura 42. Cambio porcentual del valor inicial de la resistencia a la tracción del ABS impreso en 3D.

La figura 43 muestra la variación del cambio porcentual del valor inicial del porcentaje de elongación del ABS impreso en 3D al ser sometido a envejecido artificial mediante radiación ultravioleta a diferentes tiempos de exposición.

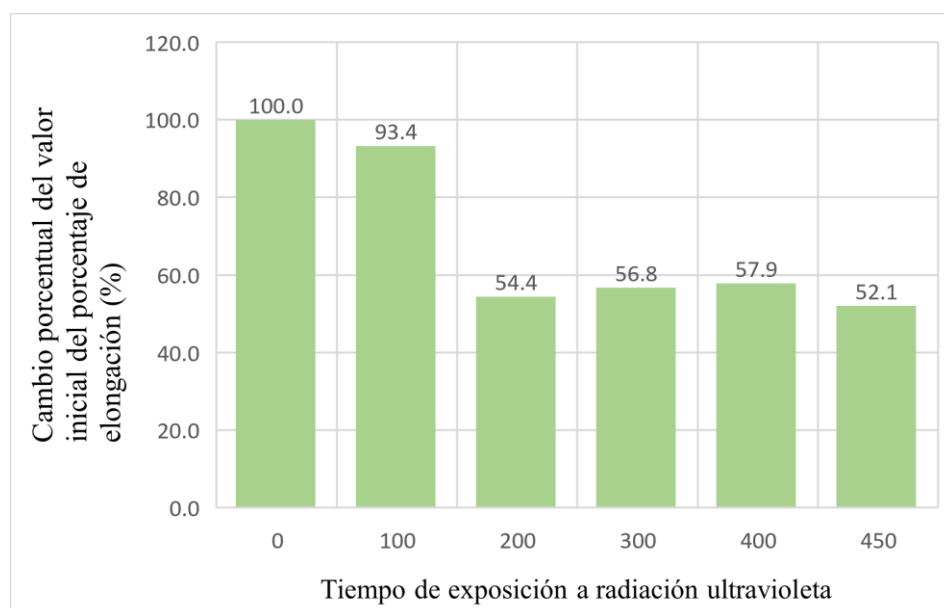


Figura 43. Cambio porcentual del valor inicial del porcentaje de elongación del ABS impreso en 3D

Discusión de Resultados

Inspección visual de las probetas sometidas ha envejecido artificial mediante radiación ultravioleta.

A las probetas sometidas a la cámara de xenón luego de un tiempo determinado de exposición se las realiza una inspección visual, verificando si existe algún cambio, tomando como referencia las probetas que no fueron sometidas a radiación ultravioleta. En la figura 44, se muestra una comparación de la probeta sin envejecido artificial con el espécimen sometido a 450 horas de exposición a radiación ultravioleta:



Figura 44. Comparación de la apariencia visual a 0 y 450 horas de exposición a radiación ultravioleta

Al comparar las probetas sin exposición a radiación ultravioleta con la que se envejeció a 450 horas se observa tenuemente un color blanquecino de la probeta radiada debido a la acción de radiación ultravioleta. Así también el brillo superficial se ha reducido, sin embargo, en la investigación se encontró que el color negro provee mayor resistencia a la intemperie si se considera la superficie de las piezas de ABS, esta condición es debido a los efectos de

absorción que produce el color negro por su alta emisividad. Por lo cual no se puede apreciar de gran medida los efectos superficiales de la radiación ultravioleta en estas probetas.

La tabla 21 muestra las imágenes de las probetas ensayadas y luego de realizar una inspección visual se observa, que en la textura no hay un cambio significativo, con referencia a los especímenes que no sufrieron exposición a radiación ultravioleta en la cámara de envejecido artificial.

Tabla 21

Apariencia visual de las probetas objeto de análisis.

Horas de exposición	Imagen del espécimen ensayado
0 horas	
100 horas	
200 horas	
300 horas	



El no observar cambios considerables en la textura de las probetas se puede dar por el espesor de 4mm que tienen los especímenes, ya que según Izdebska (2016) la radiación ultravioleta afecta en mayor medida a polímeros menores de 1mm de espesor, sin embargo, cuando se tiene mayores espesores los afecta principalmente en la capa superficial.

Comparación de la información teórica y experimental del ABS.

Según los datos obtenidos experimentalmente al ser ensayado probetas sin ninguna exposición a radiación ultravioleta se compara con información de las propiedades mecánicas proporcionadas según Fombuena Borràs, Fenollar Gimeno, y Montañes Moñoz, (2016) en la tabla 22:

Tabla 22

Información teórica y experimental del ABS

	Datos teóricos	Datos experimentales	% Error
Tensión de rotura (MPa)	38	40.8	7.4
Alargamiento a la rotura (%)	8	7.8	2.5

Se puede visualizar como los datos experimentales de las propiedades mecánicas del ABS sin realizar el envejecido artificial mediante la radiación ultravioleta son cercanos a valores teóricos revisados en la literatura expuesta. Teniendo errores del 7.4% y 2.5% en la tensión de rotura y en el alargamiento a la rotura respectivamente.

Cambios en las propiedades mecánicas de las probetas expuestas a envejecido artificial a diferentes tiempos de exposición.

Con los datos obtenidos luego de realizado el ensayo de tracción se realiza una comparación para observar el comportamiento que las probetas impresas con ABS presentan a la radiación ultravioleta durante periodos de tiempo determinados.

Tabla 23

Comparación de la resistencia a la tracción y porcentaje de elongación de probetas envejecidas artificialmente mediante radiación ultravioleta

Horas de exposición a la cámara de Xenón.	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación %
0	40.8	7.8
100	41.0	7.3
200	43.7	4.3
300	42.0	4.4
400	43.2	4.5
450	40.0	4.1

Se muestra a continuación la figura 45, donde se visualiza la variación de la resistencia a la tracción (MPa) al ser sometidos a radiación ultravioleta mediante la cámara de xenón para simular el deterioro del material.

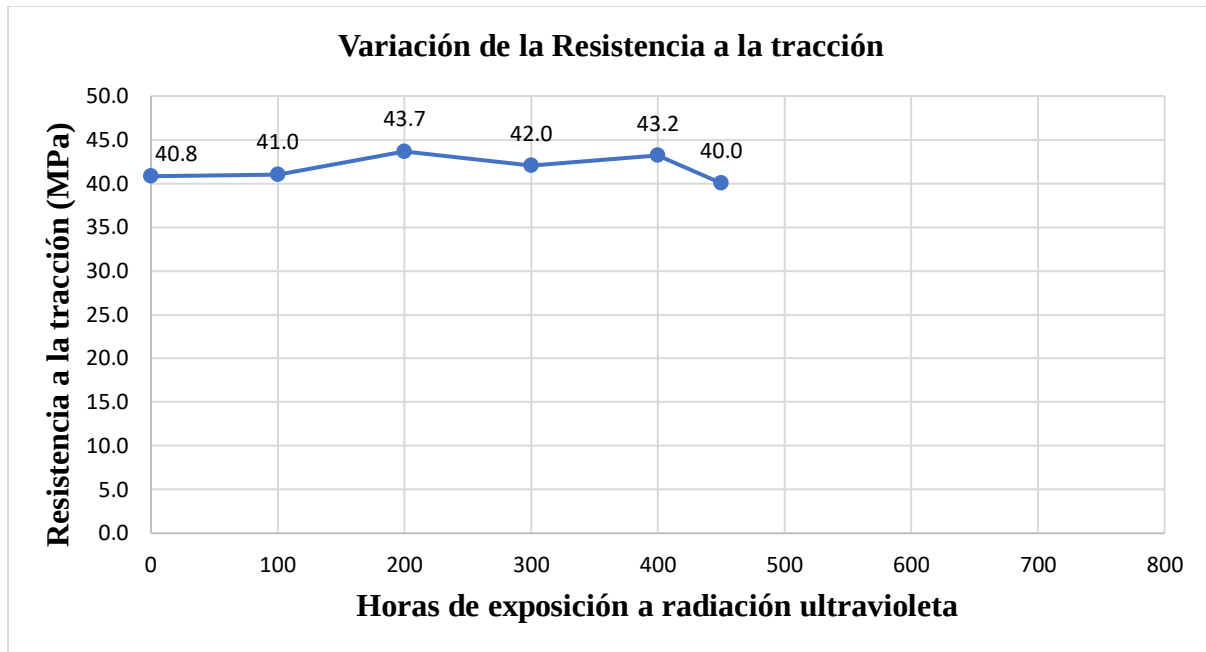


Figura 45. Variación de la resistencia a la tracción en MPa del ABS impreso en 3D al someter a radiación ultravioleta durante varias horas.

Se puede observar en la figura 45, como el material ABS al transcurrir 200 horas, incrementa su resistencia a la tracción de 40.8 MPa sin exposición a radiación ultravioleta a 43.7MPa respectivamente, sin embargo, al pasar más tiempo de exposición, la resistencia va cambiando, siendo 40MPa la resistencia a la tracción que presenta el material luego de 450 horas de estar sometidas las probetas han envejecido artificial. Los resultados que se observan en la figura 45 cambian, aumentando o disminuyendo la resistencia a la tracción del ABS impreso mediante manufactura aditiva, es por este motivo que no se puede visualizar una tendencia clara sobre el comportamiento que presenta el material ante la presencia de la radiación ultravioleta.

Otra propiedad mecánica de interés para ser analizado es el porcentaje de elongación que presentan las probetas impresas en 3D envejecidas artificialmente. Esta propiedad se la observa en la figura 46.

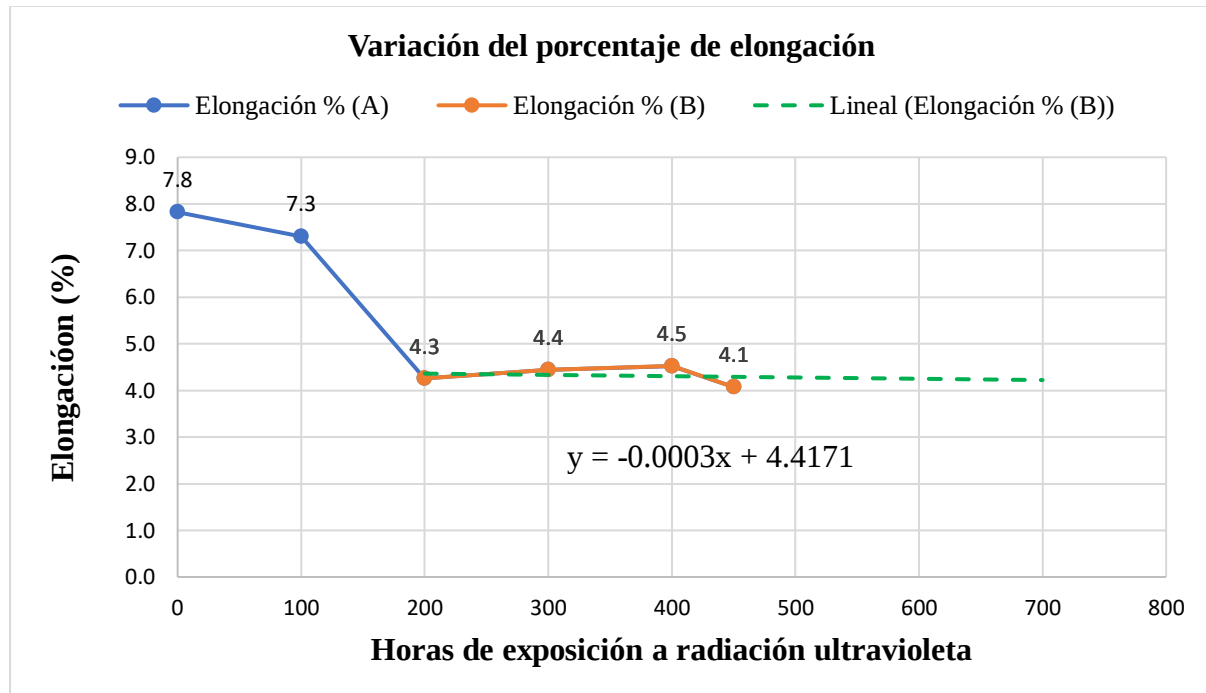


Figura 46. Variación del porcentaje de elongación del ABS impreso en 3D al someter a radiación ultravioleta durante varias horas.

La figura 46 presenta una tendencia clara a la disminución del porcentaje de elongación al transcurrir el tiempo de exposición en la cámara de xenón de las probetas impresas en 3D con ABS; por lo cual el material comienza a tener mayor fragilidad. Así también según Rabie, Mahran, Kamel, y Abdel Hamid, (2008) en otros polímeros, como el poliestireno al estar en presencia de la radiación ultravioleta presenta un amarilleo superficial y fragilidad en el material.

El porcentaje de elongación de las probetas envejecidas a 100 horas es de 7.3%, sin embargo, sufre una drástica disminución hasta llegar a 4.3 % con 200 horas de exposición a la radiación UV. Con tiempos de exposición mayores a 200 horas, el porcentaje de elongación va cambiando en pequeñas cantidades, y al llegar a 450 horas de tiempo que las probetas estén en la cámara de envejecido, el porcentaje de elongación es de 4.1%.

La variación del porcentaje de elongación en función del tiempo de exposición a radiación ultravioleta se representa en dos tramos de la figura 46. Donde, la parte A está representada con una línea continua de color azul y se puede visualizar el cambio drástico del porcentaje de elongación en el tramo de 100 a 200 horas. Mientras que la parte B, representada por la línea continua de color anaranjado presenta datos con tiempos de exposición desde 200 horas hasta 450 horas. Los valores del porcentaje de elongación en la parte B, no varían drásticamente unos de otros por lo cual se puede observar una línea más estable. Con los datos de la parte B se tiene una tendencia sobre el comportamiento del material, motivo por lo cual la línea entrecortada de color verde en la figura 46 representa una tendencia tipo lineal; tiene una ecuación, donde “y” representa el porcentaje de elongación (ε) y “x” es el tiempo de exposición a envejecido artificial (t).

$$\varepsilon = -0.0003t + 4.4171 \quad (4)$$

Con esta ecuación se puede predecir el porcentaje de elongación que posiblemente va a tener a determinadas horas de exposición. Si se tiene 700 horas de radiación ultravioleta, el porcentaje de elongación sería 4.2071. Por lo cual se observa que el porcentaje de elongación sigue disminuyendo, haciendo al material más frágil.

Comparación del cambio porcentual del valor inicial de la resistencia a tracción del ABS y el Polietileno en función del tiempo de envejecido artificial para aplicarlo en un parachoques vehicular.

Un componente automotriz externo que tienen todos los vehículos es el parachoques. Este componente se fabrica utilizando diversos polímeros, uno de ellos es el Polietileno (PE). Sin embargo, como todos los materiales, al ser expuestos a radiación proveniente del sol, sufre

deterioro. Por tal razón se realiza una comparación del comportamiento que presentan el Polietileno y el acrilonitrilo Butadieno estireno (ABS) al estar expuestos a condiciones de intemperismo y cuyo principal agente de deterioro es la radiación ultravioleta proveniente del sol. A los dos polímeros anteriormente mencionados se los envejeció artificialmente mediante radiación ultravioleta proveniente de lámparas de xenón. Los datos de deterioro para el polietileno se lo extraen de la información proporcionada por el trabajo de investigación denominada “*Estudio de la degradación en polímeros oxo-biodegradables*” realizada por Quiroz, Cadena, Sinche, Chango, y Aldás (2009).

En la tabla 24 se presenta el cambio porcentual del valor inicial de la resistencia a la tracción en función del tiempo de exposición a radiación ultravioleta.

Tabla 24.

Cambio porcentual del valor inicial de la resistencia a la tracción en función del tiempo de exposición a radiación ultravioleta del ABS y el polietileno.

Tiempo (Horas)	Acrilonitrilo Butadieno Estireno (%)	*Polietileno (%)
0	100	100
100	100.5	112
150	103.75	98

Nota: Se toman valores con un tiempo máximo de 150 horas porque se tiene información del Polietileno hasta ese tiempo. * Los datos del Polietileno se tomaron de la figura 11 de las probetas N2.

En la figura 47 se presenta una comparación del cambio porcentual del valor inicial de la resistencia a la tracción al ser envejecidos artificialmente a un determinado tiempo de exposición del ABS y del polietileno.

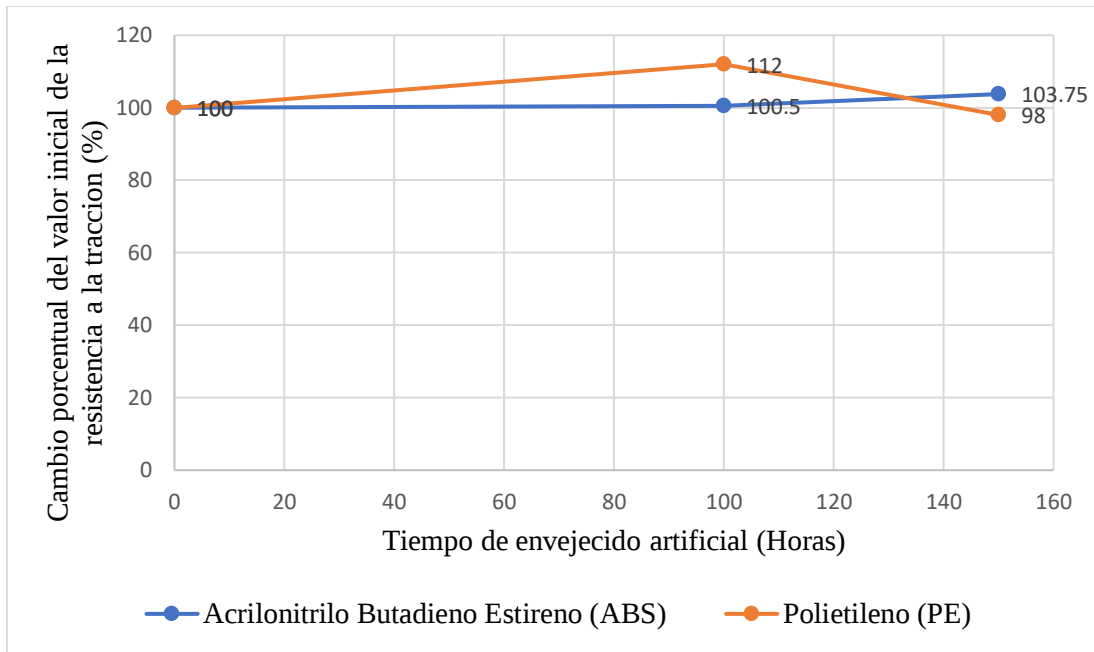


Figura 47. cambio porcentual del valor inicial de la resistencia a la tracción en función del tiempo de exposición a radiación ultravioleta del ABS y del Polietileno

En la figura 47 se observa un incremento porcentual del valor inicial de la resistencia a la tracción considerando 150 horas de exposición a radiación ultravioleta con el material ABS impreso en 3D de 100% a 103.75%. Mientras que el Polietileno disminuye su resistencia de 100% a 98%.

Con la información expuesta anteriormente se observa que Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), en un determinado rango de tiempo de exposición a radiación ultravioleta es más resistente que el polietileno.

Comparación del cambio porcentual del valor inicial del porcentaje de elongación del ABS y el Polietileno en función del tiempo de envejecido artificial para aplicarlo en un parachoques vehicular.

En la tabla 25 se presenta el cambio porcentual del valor inicial del porcentaje de elongación en función del tiempo de exposición a radiación ultravioleta del ABS y del Polietileno.

Tabla 25

Cambio porcentual del valor inicial del porcentaje de elongación en función del tiempo de exposición a radiación ultravioleta del ABS y del Polietileno

Tiempo	Acrilonitrilo Butadieno	* Polietileno	
(Horas)	Estireno (%)	(%)	
0		100	100
100		93	98
150		73.5	95

Nota: Se toman valores con un tiempo máximo de 150 horas porque se tiene información del Polietileno hasta ese tiempo. * Los datos del Polietileno se tomaron de la figura 12 de las probetas N2.

En la figura 48 se presenta una comparación del cambio porcentual del valor inicial que tiene el ABS y el polietileno en el porcentaje de elongación al ser envejecidos artificialmente a un determinado tiempo de exposición.

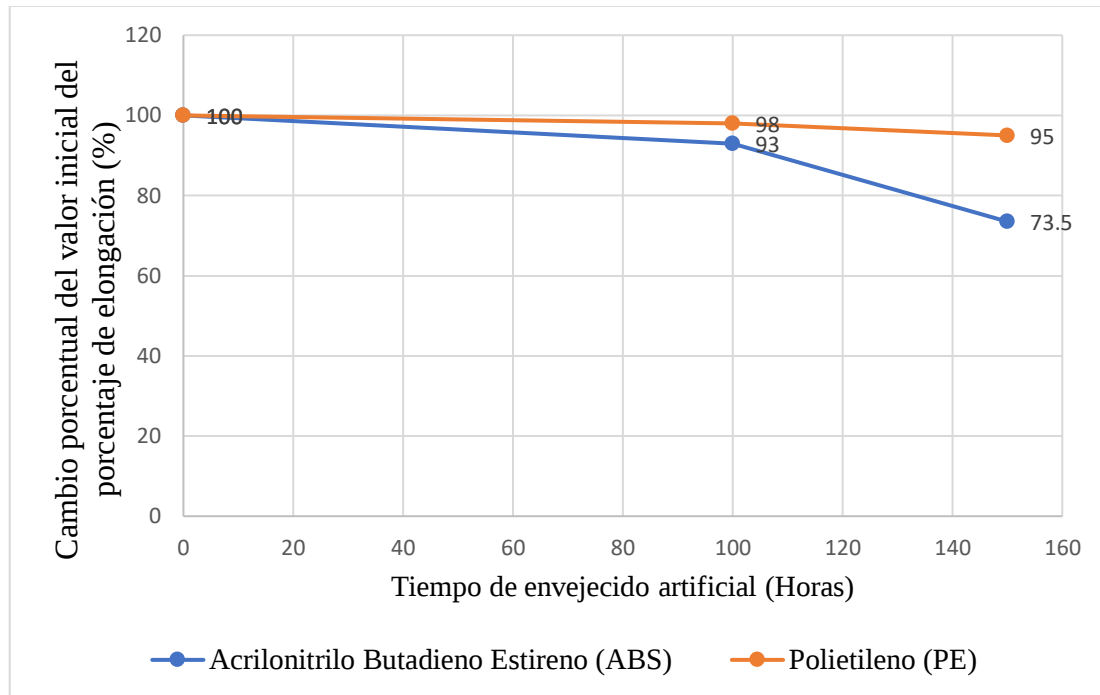


Figura 48. Cambio porcentual del valor inicial del porcentaje de elongación en función del tiempo de exposición a radiación ultravioleta del ABS y del Polietileno

De acuerdo a la figura 48, el porcentaje de elongación del ABS tiene una disminución en el cambio porcentual del valor inicial de 100% a 73.5% a las 150 horas de envejecido artificial, sin embargo, mientras que el polietileno disminuye su valor de 100% a 95%.

Los valores presentados presentan una clara tendencia a que los dos polímeros luego de estar expuestos a radiación ultravioleta van teniendo un comportamiento frágil. El Polietileno presenta mayor resistencia a la disminución del porcentaje de elongación al ser sometidos a envejecido artificial en comparación con el ABS.

Conclusiones

Realizado el ensayo de tracción a las probetas impresas en 3D con material ABS, sin realizar el envejecido artificial se pudo corroborar que las propiedades mecánicas son cercanas a los valores teóricos mostrados. Con porcentajes de error del 7,4 % para la tensión de rotura y del 2,5% en el porcentaje de elongación respectivamente.

Las probetas que se sometieron a tiempos de envejecido artificial mediante radiación ultravioleta en la cámara de xenón a 100, 200, 300, 400 y 450 horas de permanencia, mostraron tenues cambios en el color y no se visualizaron cambios en la textura de las probetas, al realizar una inspección visual superficial de las probetas teniendo como referencia las probetas de ABS impresas en 3D sin ensayo de envejecido artificial.

La resistencia a la tracción de probetas envejecidas luego de realizar el respectivo ensayo de tracción muestra una tendencia a disminuir su valor desde 40.8MPa de las probetas sin envejecido artificial a 40MPa de las probetas sometidas a radiación ultravioleta mediante la cámara de xenón a 450 horas de exposición. Se pone en manifiesto entonces que los lineamientos teóricos de deterioro de materiales poliméricos cuando son sometidos a la fotodegradación son verificados con lo expuesto en este trabajo investigativo.

El porcentaje de elongación de las probetas de ABS impresas en 3D disminuye de 7.8% sin envejecido artificial a 4.1 % a las 450 horas de exposición a radiación ultravioleta, mostrando claramente una tendencia a un comportamiento frágil del material por el deterioro del material ABS. Sin embargo, es de especial interés el cambio drástico del porcentaje de elongación de 7.3% a 4.3% luego de 100 horas y 200 horas de exposición a envejecido artificial respectivamente.

Esta técnica de manufactura de impresión 3D utilizando ABS de color negro como materia prima se puede utilizar en la obtención de retrovisores para vehículos debido a que

generalmente la geometría es compleja y con un adecuado acabado superficial como galvanizado la pieza será útil en las condiciones de trabajo expuestas.

En el ensayo de envejecido artificial, el tiempo de exposición con determinados parámetros dispuestos en la cámara de luz ultravioleta por lámparas de xenón, tiene una correlación con el tiempo que un material puede estar expuesto a radiación ultravioleta en condiciones de intemperismo natural. La tabla 14 se muestra una equivalencia aproximada; donde a 450 horas de exposición de las probetas en la cámara de envejecido, correspondería una permanencia de 15 semanas en condiciones de intemperismo natural.

El ABS en un determinado tiempo de exposición a envejecido artificial tiene una resistencia mecánica mayor que el polietileno, sin embargo, el porcentaje de elongación es menor. Se nota entonces, que los polímeros expuestos anteriormente tienen comportamientos distintos ante la radiación ultravioleta, por lo cual cada uno de ellos se utiliza en el sector automovilístico en componentes distintos, de acuerdo a las necesidades que se requiera.

Con la información teórica que muestra este trabajo, se puede notar que el ABS y el Polietileno son utilizados para la fabricación de varios componentes que van estar sometidos a radiación ultravioleta proveniente del sol, una de estas piezas es el paragolpes de un auto. Sin embargo, el ABS presenta una buena resistencia mecánica y los efectos del deterioro se pueden mitigar aplicando un adecuado revestimiento para con ello conservar las propiedades del material.

El ABS impreso en 3D se puede utilizar en la obtención de parachoques vehicular, puesto que presenta buena resistencia mecánica en comparación con el Polietileno que es un material que comúnmente se utiliza. El cambio porcentual de la resistencia a la tracción del ABS es mayor que el Polietileno, sin embargo, el porcentaje de elongación del ABS es menor por lo cual se debe considerar siempre proteger el material mediante aditivos y recubrimientos.

Recomendaciones

La impresión 3D es una técnica de manufactura moderna que crece considerablemente en la industria automotriz, por lo cual es necesario tener el conocimiento adecuado para producir componentes automotrices de calidad.

Todos los parámetros para la impresión 3D deben ser los más óptimos, desde el diseño geométrico en programas CAD, hasta el establecimiento de condiciones de impresión que se van a utilizar en determinada pieza deben ser revisados que cumplan todas las condiciones para que se obtenga un componente adecuado.

Es indispensable tener un adecuado control de calidad en los componentes impresos en 3D, para minimizar errores de producción producidos por agentes inesperados. Esto se lo realizara con la finalidad de obtener productos competitivos en el mercado con el afán de satisfacer la necesidad de los clientes en tanto las piezas cumpla los requerimientos al ponerlos en servicio.

Realizar un correcto diseño geométrico de los componentes impresos en 3D para que tengan mayor resistencia.

Optar por formas de proteger los componentes contra agentes ambientales, utilizando recubrimientos que reduzcan los efectos nocivos de la radiación ultravioleta.

Realizar estudios de envejecido artificial aumentando el tiempo de exposición a radiación ultravioleta para tener una mayor claridad en los efectos que este agente produce al material. Y con esto obtener una línea de tendencia definida, sobre el comportamiento que presenta el Acrilonitrilo Butadieno Estireno impreso en 3D al estar expuesto a radiación ultravioleta.

Referencias Bibliográficas

- Askeland, D., Fulay, P., & Wright, W. (2011). *The Science and Engineering of Materials*. United States of America: CENGAGE Learning.
- Berchon, M., & Luyt, B. (2016). *La impresión 3D: guía definitiva para makers, diseñadores, estudiantes, profesionales, artistas y manitas en general*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Boldizar, A., & Möller, K. (2003). Degradation of ABS during repeated processing and accelerated ageing. *Polymer Degradation and Stability*, 360-361.
- Casale, A., Salvatore, O., & Pizzigoni, G. (1975). Measurement of Aging Effects of ABS Polymers. *Polymer Engineering and Science*, 8.
- Centro de análisis y perspectiva. (11 de Marzo de 2016). *Bibliotecasgc*. Obtenido de Impresoras 3D: http://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf
- Cornish, M. (1997). *El ABC de los plásticos*. uia. Obtenido de <https://books.google.es/books?id=QW8UyW9YO9QC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Davis, P., Tiganis, B., & Burn, L. (2003). The effect of photo-oxidative degradation on fracture in ABS pipe resins. *Polymer Degradation and Stability*, 234-241.
- El Universal. (Julio de 2018). *El Universal*. Obtenido de El Universal: <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/autopistas/2015/06/26/impresion-3d-invade-al-mundo-automotriz>
- elchapista. (12 de agosto de 2018). *elchapista*. Obtenido de elchapista: http://www.elchapista.com/nomenclaturas_e_informacion_de_tipos_de_plasticos.html
- Emad, Y., & Raghad, H. (2013). Photodegradation and photostabilization of polymers, especially polystyrene: review. *SpringerPlus*, 1-32.
- Fombuena Borràs, V., Fenollar Gimeno, O. Á., & Montañes Moñoz, N. (2016). *Caracterización de materiales poliméricos*. Valencia : Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia .

- Garcís Pérez, G. (2005). *Estudio de la Degradación por radiación ultravioleta de la mezcla poliestireno de alto impacto y policarbonato*. Mexico D.F.
- Gershenfeld, N. (2016). *Atkearney*. Obtenido de 3D Printing: A Manufacturing Revolution: <https://www.atkearney.com/documents/10192/5992684/3D+Printing+A+Manufacturing+Revolution.pdf/bf8f5c00-69c4-4909-858a-423e3b94bba3>
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. México: McGraw-Hill.
- Hager, I., Golonka, A., & Putanowicz, R. (2016). 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? *Procedia Engineering*, 296.
- Izdebska, J. (2016). Aging and Degradation of Printed Materials. *Printing on Polymers*, 353-370.
- Jiménez, B., Díez, R., Zaratiegui, J., Llorente, M., Unamuno, X., & Tejada, S. (2017). Impresión 3D en neurocirugía: modelo específico para pacientes con craneosinostosis. *Neurocirugía*, 6.
- Kalpakkjian, S., & Schmid, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Koll, M. (12 de Agosto de 2018). *ipa*. Obtenido de ipa: <http://www.archivo.ipa.org.ar/images/16.09.201Koll.pdf>
- Loctite Terosson. (14 de Agosto de 2018). *Loctite Terosson*. Obtenido de Loctite Terosson: <https://blog.reparacion-vehiculos.es/breve-repaso-historia-del-paragolpes>
- Makergear. (s.f.). *Makergear*. Obtenido de Makergear: <https://www.makergear.com/products/m2>
- Molina, J. (2016). *CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES TERMOPLÁSTICOS DE ABS Y PLA SEMI - RÍGIDO IMPRESOS EN 3D CON CINCO MALLADOS INTERNOS DIFERENTES*. Quito.
- motorbit. (2018). *motorbit*. Obtenido de motorbit: <http://motorbit.com/3d-printing-y-la-industria-automotriz/?pais=>
- Organización Mundial de la Salud. (2003). *Índice UV solar mundial*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud:

<http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42633/9243590073.pdf;jsessionid=26E15AAAB7728D32F49196EB87AEA126?sequence=1>

Ortega, J., Blanco, M., & Cuevas, A. (1984). Acción de las radiaciones U.V. sobre el poli (cloruro de vinilo) flexible. *Materconstruc*, 43.

OSSUR. (12 de Julio de 2018). *OSSUR PLASTICOS*. Obtenido de OSSUR PLASTICOS: <http://www.ossurplasticos.com.ar/abs.html>

parentesis.com. (1 de Agosto de 2018). *parentesis.com*. Obtenido de parentesis.com: https://www.parentesis.com/autos/noticias/Strati_el_primer_auto_fabricado_con_imprisiones_3D

Pérez, R., Calvo, J., Arnal, J., Chana Francisco, Sanz, P., & Vaquero, J. (2016). Nuestra experiencia con impresión 3D doméstica en Cirugía Ortopédica y Traumatología. *Revista latinoamericana de cirugía ortopédica*, 7.

Printhatshit. (s.f.). *Manual Slic3r*.

QuimiNet. (12 de Julio de 2018). *QuimiNet*. Obtenido de QuimiNet: <https://www.quiminet.com/articulos/fabrique-piezas-de-automotrices-con-el-mejor-termoplastico-3362536.htm>

Quintana, R., Persenaire, O., Lemmouchi, Y., Sampson, J., Martin, S., Bonnaud, L., & Dubois, P. (2013). Enhancement of cellulose acetate degradation under accelerated weathering by plasticization with eco-friendly plasticizers. *Polymer Degradation and Stability*, 1-7.

Quiroz, F., Cadena, F., Sinche, L., Chango, I., & Aldás, M. (2009). Estudio de la degradación en polímeros oxo-biodegradables. *Revista Politécnica*.

Rabek, J., & Ranby, B. (1975). Photodegradation, photooxidation and photostabilization of Polymers. *New York: John Wiley*.

Rabie, S., Mahran, A., Kamel, E., & Abdel Hamid, N. (2008). Photodegradation of polystyrene stabilized with uracil derivative. *Journal of applied sciences research*, 4-12.

Rojas, A., & Aranzazu, L. (2015). Estabilidad de procesamiento de polímeros: índice de degradación en proceso. *mutis*, 9.

Secretaria de Ambiente. (22 de Julio de 2018). *Quito ambiente*. Obtenido de Quito ambiente:
<http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/preguntas-frecuentes#la-radiaci%C3%B3n-ultravioleta-uv>

Singh, B., & Sharma, N. (2007). Mechanistic implications of plastic degradation. *Polymer Degradation and Stability*, 561-584.

Strlic, M., & Kolar, J. (2005). Aging and stabilization of papers. *Turjaska - Slovenia: Distributed by the National and university Library*.

Textos-Científicos. (2006). *Textos científicos*. Obtenido de Textos científicos:
<https://www.textoscientificos.com/polimeros/abs>

Textos-Científicos. (2018). *Textos científicos*. Obtenido de Textos científicos:
<https://www.textoscientificos.com/polimeros/abs>

textoscientificos. (12 de Agosto de 2018). *textoscientificos*. Obtenido de textoscientificos.:
<https://www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno/propiedades>

THINGIBOX ION. (s.f.). *THINGIBOX ION*. Obtenido de THINGIBOX ION:
<http://es.docs.thingibox.com/guia?itemID=20>

Tresding. (2018). *Tresding*. Recuperado el 24 de Julio de 2018, de Tresding:
<https://www.tresding.com/filamentos-all-colors-materials3d/288-all-colors-materials3d-pla-f3-flexible.html>

Uribe, M., & Y. Mehrenberger, P. (2010). *Los polímeros - síntesis, caracterización, degradación y reología*. Obtenido de ebookcentral: <https://ebookcentral.proquest.com>

Vidhyaa Karunanidhi, S. (12 de Agosto de 2018). *PLAEN*. Obtenido de PLAEN:
<https://plaen.blogspot.com/2012/08/la-industria-automotriz-busca.html>

Wohlers, T. (2018). *3D CAD Portal*. Obtenido de 3D CAD Portal:
<http://www.3dcadportal.com/manufactura-aditiva.html>

Zaratti, F. (2003). La radiación Ultravioleta Solar. En F. Zaratti, & R. Forno, *La Radiación Ultravioleta en Bolivia* (págs. 37-42). La Paz: CREATIVA.

ANEXOS**Anexo 1.** Resultados de las pruebas de tracción a las probetas impresas en 3D

jueves, 31 de mayo de 2018

Instron Applications Laboratory

Descripción del método

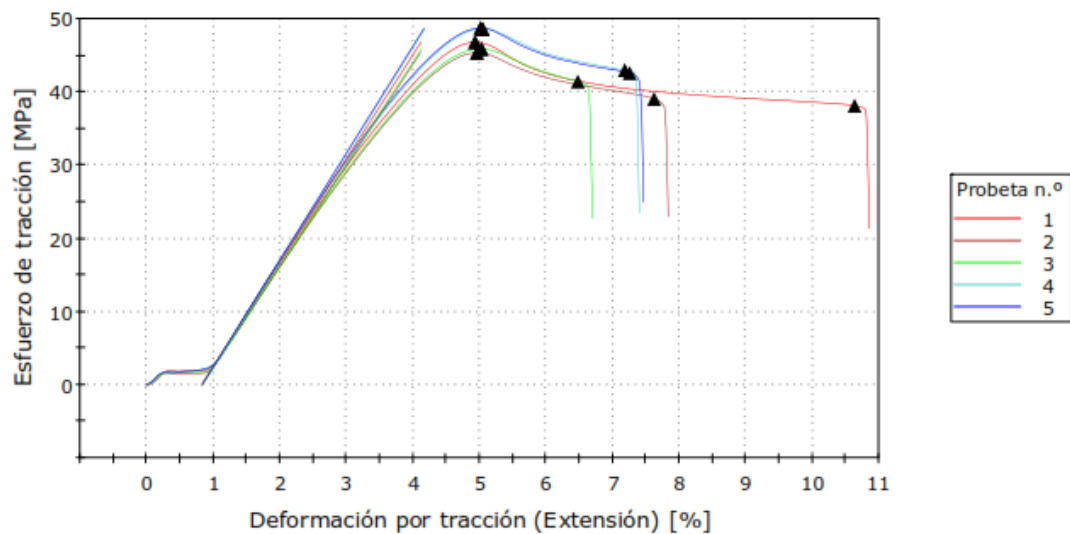
ASTM D 638–10 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics

Conditioning procedure	
Preparation method	
Sample size	5
Sistema de unidades	SI
Extensometer Class	Class B-2
Origen principal	Extensión
Dumbell Type	Type I
Modo de control 1	Extensión
Velocidad 1	50,00000 mm/min
Temperature (C)	23,0
Humidity (%)	50,0
Method revision date	11/2008



jueves, 31 de mayo de 2018

ASTM D 638-08: Stress-Strain Curve (Specimen 1 to 5)



	Tensile Strength [MPa]	Tensile Strength at Yield [MPa]	% Elongation at Yield [%]	Tensile Strength at Break [MPa]	% Elongation at Break [%]	Modulus [MPa]	Módulo al Modulus (Secant 1 %) [MPa]	Anchura [mm]	Espesor [mm]
1	46,7	46,7	4,93	38,1	10,6	1420	245	6,20	4,10
2	45,3	45,3	4,96	39,0	7,61	1380	277	6,20	4,26
3	45,8	45,8	5,03	41,4	6,47	1390	258	6,10	4,30
4	48,5	48,5	5,04	43,0	7,18	1450	287	6,20	4,10
5	48,6	48,6	5,01	42,6	7,25	1460	276	6,20	4,10
Media	47,0	47,0	4,99	40,8	7,83	1420	269	6,18	4,17
S.D.	1,529	1,529	0,048	2,137	1,616	35,6	16,821	0,045	0,100



jueves, 31 de mayo de 2018

Instron Applications Laboratory

Descripción del método

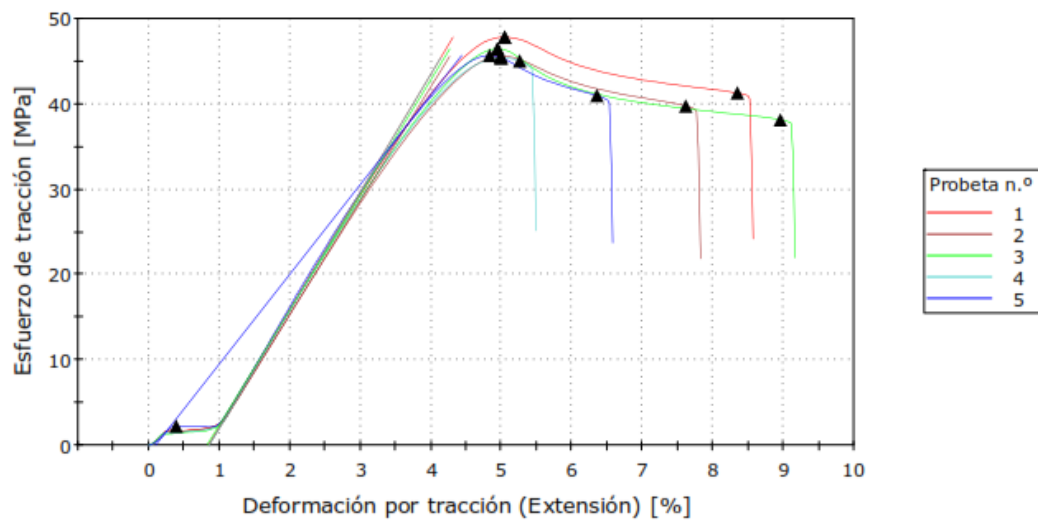
ASTM D 638-10 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics

Conditioning procedure	
Preparation method	
Sample size	5
Sistema de unidades	SI
Extensometer Class	Class B-2
Origen principal	Extensión
Dumbell Type	Type I
Modo de control 1	Extensión
Velocidad 1	50,00000 mm/min
Temperature (C)	23,0
Humidity (%)	50,0
Method revision date	11/2008



jueves, 31 de mayo de 2018

ASTM D 638-08: Stress-Strain Curve (Specimen 1 to 5)



	Tensile Strength [MPa]	Tensile Strength at Yield [MPa]	% Elongation at Yield [%]	Tensile Strength at Break [MPa]	% Elongation at Break [%]	Modulus [MPa]	Módulo al Modulo (Secant 1 %) [MPa]	Anchura [mm]	Espesor [mm]
1	47,8	47,8	5,05	41,3	8,34	1380	263	6,20	4,10
2	45,6	45,6	4,99	39,8	7,61	1330	252	6,20	4,22
3	46,4	46,4	4,94	38,1	8,95	1350	242	6,30	4,12
4	45,4	45,4	4,99	45,0	5,26	1380	249	6,30	4,20
5	45,7	2,34	0,39155	41,0	6,35	1050	264	6,30	4,18
Media	46,2	37,5	4,07	41,0	7,30	1300	254	6,26	4,16
S.D.	1,000	19,680	2,058	2,541	1,496	139	9,392	0,055	0,052



jueves, 31 de mayo de 2018

Instron Applications Laboratory

Descripción del método

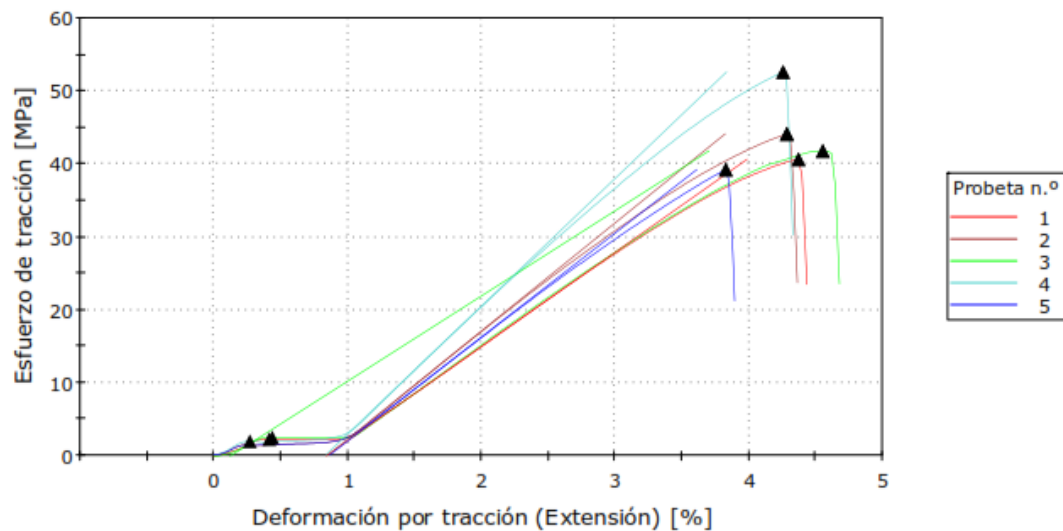
ASTM D 638-10 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics

Conditioning procedure	
Preparation method	
Sample size	5
Sistema de unidades	SI
Extensometer Class	Class B-2
Origen principal	Extensión
Dumbell Type	Type I
Modo de control 1	Extensión
Velocidad 1	50,00000 mm/min
Temperature (C)	23,0
Humidity (%)	50,0
Method revision date	11/2008



jueves, 31 de mayo de 2018

ASTM D 638-08: Stress-Strain Curve (Specimen 1 to 5)



	Tensile Strength [MPa]	Tensile Strength at Yield [MPa]	% Elongation at Yield [%]	Tensile Strength at Break [MPa]	% Elongation at Break [%]	Modulus [MPa]	Módulo al Modulo (Secant 1 %) [MPa]	Anchura [mm]	Espesor [mm]
1	40,6	2,35	0,41416	40,6	4,37	1290	261	6,20	4,40
2	44,1	44,1	4,28	44,1	4,28	1480	254	6,20	4,16
3	41,8	2,60	0,43742	41,8	4,55	1170	255	6,10	4,40
4	52,6	2,07	0,26900	52,6	4,25	1750	320	6,20	3,50
5	39,2	-----	-----	39,2	3,82	1420	256	6,20	4,10
Media	43,7	12,8	1,35	43,7	4,25	1420	269	6,18	4,11
S.D.	5,297	20,873	1,955	5,297	0,267	220	28,531	0,045	0,368



jueves, 31 de mayo de 2018

Instron Applications Laboratory

Descripción del método

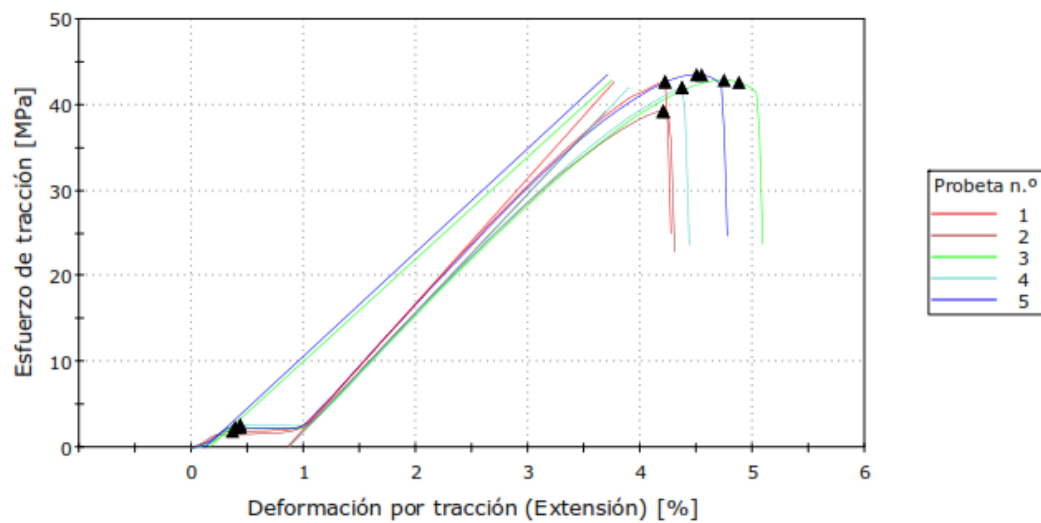
ASTM D 638-10 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics

Conditioning procedure	
Preparation method	
Sample size	5
Sistema de unidades	SI
Extensometer Class	Class B-2
Origen principal	Extensión
Dumbell Type	Type I
Modo de control 1	Extensión
Velocidad 1	50,00000 mm/min
Temperature (C)	23,0
Humidity (%)	50,0
Method revision date	11/2008



jueves, 31 de mayo de 2018

ASTM D 638-08: Stress-Strain Curve (Specimen 1 to 5)



	Tensile Strength [MPa]	Tensile Strength at Yield [MPa]	% Elongation at Yield [%]	Tensile Strength at Break [MPa]	% Elongation at Break [%]	Modulus [MPa]	Módulo al Modulus (Secant 1) [%] [MPa]	Anchura [mm]	Espesor [mm]
1	42,7	2,00	0,36809	42,7	4,22	1460	271	6,10	4,20
2	39,3	39,3	4,20	39,3	4,20	1380	259	6,10	4,40
3	42,9	2,45	0,43700	42,6	4,87	1190	239	6,20	4,22
4	42,0	2,78	0,43674	42,0	4,37	1390	262	6,20	4,30
5	43,5	2,45	0,39075	43,5	4,54	1210	266	6,20	4,20
Media	42,1	9,79	1,17	42,0	4,44	1330	259	6,16	4,26
S.D.	1,659	16,474	1,696	1,624	0,279	119	12,176	0,055	0,086



jueves, 31 de mayo de 2018

Instron Applications Laboratory

Descripción del método

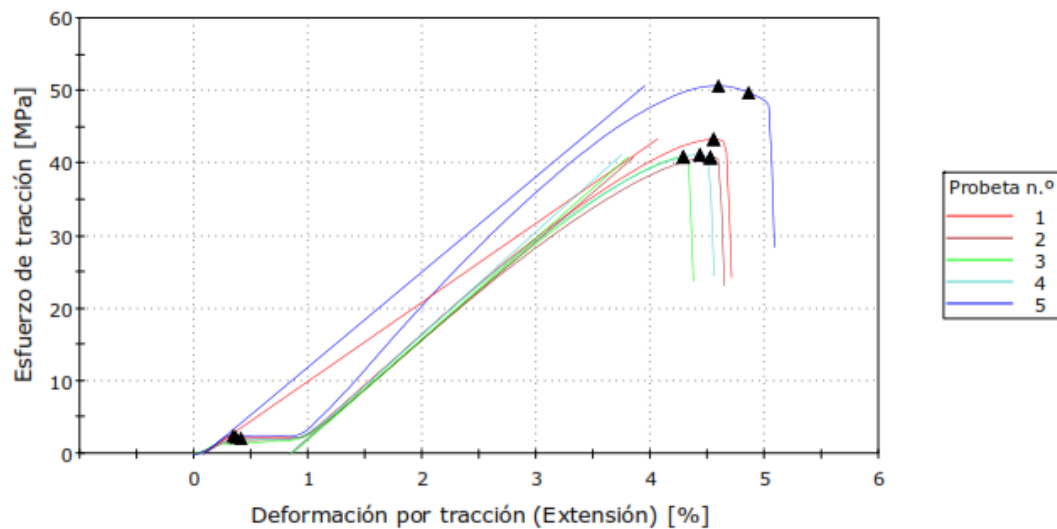
ASTM D 638-10 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics

Conditioning procedure	
Preparation method	
Sample size	5
Sistema de unidades	SI
Extensometer Class	Class B-2
Origen principal	Extensión
Dumbell Type	Type I
Modo de control 1	Extensión
Velocidad 1	50,00000 mm/min
Temperature (C)	23,0
Humidity (%)	50,0
Method revision date	11/2008



jueves, 31 de mayo de 2018

ASTM D 638-08: Stress-Strain Curve (Specimen 1 to 5)



	Tensile Strength [MPa]	Tensile Strength at Yield [MPa]	% Elongation at Yield [%]	Tensile Strength at Break [MPa]	% Elongation at Break [%]	Modulus [MPa]	Módulo al Modulo (Secant 1) [%]	Anchura [mm]	Espesor [mm]
1	43,3	2,41	0,36836	43,3	4,55	1090	271	6,20	4,20
2	40,8	40,8	4,52	40,8	4,52	1360	288	6,20	4,30
3	40,9	40,9	4,28	40,9	4,28	1390	269	6,20	4,16
4	41,2	2,24	0,41378	41,2	4,43	1410	290	6,20	4,28
5	50,6	2,60	0,34389	49,7	4,85	1310	343	6,20	3,50
Media	43,4	17,8	1,99	43,2	4,53	1310	292	6,20	4,09
S.D.	4,196	21,052	2,208	3,808	0,210	131	29,936	0,000	0,334



jueves, 31 de mayo de 2018

Instron Applications Laboratory

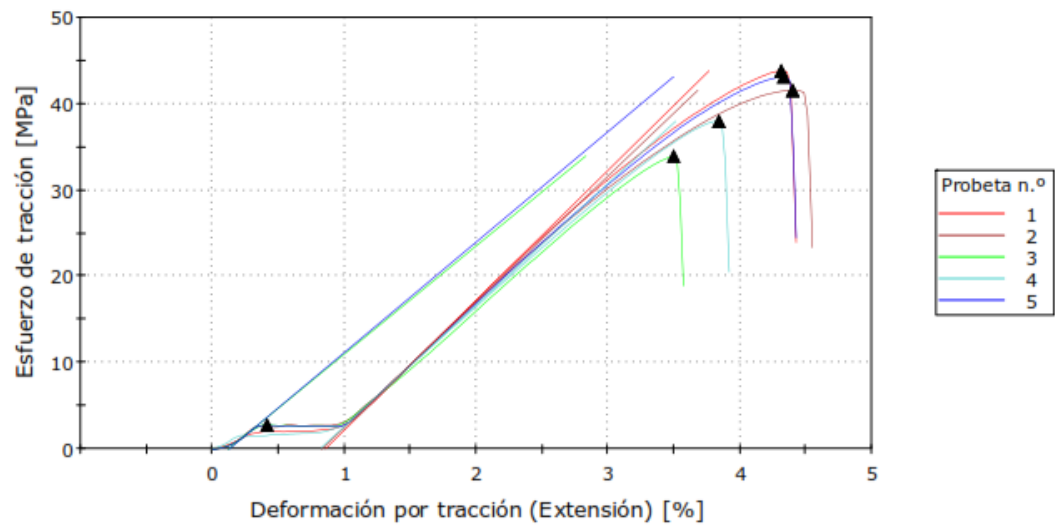
Descripción del método
ASTM D 638-10 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics

Conditioning procedure	
Preparation method	
Sample size	5
Sistema de unidades	SI
Extensometer Class	Class B-2
Origen principal	Extensión
Dumbell Type	Type I
Modo de control 1	Extensión
Velocidad 1	50,00000 mm/min
Temperature (C)	23,0
Humidity (%)	50,0
Method revision date	11/2008



jueves, 31 de mayo de 2018

ASTM D 638-08: Stress-Strain Curve (Specimen 1 to 5)



	Tensile Strength [MPa]	Tensile Strength at Yield [MPa]	% Elongation at Yield [%]	Tensile Strength at Break [MPa]	% Elongation at Break [%]	Modulus [MPa]	Módulo al Modulo (Secant 1 %)	Anchura [mm]	Espesor [mm]
1	43,8	43,8	4,31	43,8	4,31	1500	289	6,10	4,10
2	41,5	41,5	4,39	41,5	4,39	1460	321	6,20	4,14
3	33,9	2,89	0,41448	33,9	3,50	1250	312	6,20	4,06
4	37,9	37,9	3,84	37,9	3,84	1410	285	6,20	4,10
5	43,1	2,82	0,41421	43,1	4,33	1280	284	6,20	4,08
Media	40,1	25,8	2,67	40,1	4,07	1380	298	6,18	4,10
S.D.	4,098	21,046	2,074	4,098	0,392	111	17,397	0,045	0,030