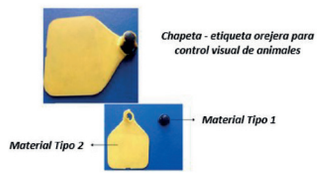
Diseño, caracterización y simulación CAE de mezclas poliméricas para dispositivos empleados en la identificación y control de semovientes



Design, characterization and CAE simulation for devices applied in the control and semovient identification

Adrian-José Benitez-Lozano

Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM). Grupo de Investigación Calidad Metrología y Producción. Calle 73 No.76 a -354 – 050034 Medellín (Colombia)

DOI: http://dx.doi.org/10.6036/9485 | Recibido: 07/11/2019 • Inicio Evaluación: 10/11/2019 • Aceptado: 10/12/2019

ABSTRACT

- The current research project presents a methodology product design, characterization for different thermoplastic elastomeric mixtures with mechanicals properties evaluation and computer aided engineering simulations (CAE) for ear tags devices applied in the control and semovient identification. From product design and the characterization of reference product through Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (FTIR) is achieved new alternative mixtures to the reference, after the exposition to UV radiation for 320 hours, are evaluated through different mechanicals and chemical properties as hardness and FTIR. With the characteristics and 3 geometry designs, a design was selected regarding to the customer requirements from the Product Design Methodology – PDS [1]-[3]. This design and mixtures evaluation obtained were the initial conditions for the analysis CAE in Software Sigmasoft® specialized in mold injection simulation for thermoplastic elastomeric materials. The simulations reveal important results in temperature, packing pressure and other variables to know in the adequate mixture processing with the best performance properties, with the goal to determine de best processing conditions, and different requirements to know in the mold manufacturing achieving an optimum final product processing.
- **Key Words:** Product Design Specification (PDS), Mixture Characterization, Thermoplastic ear tags, CAE Simulation.

RESUMEN

En este artículo se presenta el desarrollo de una metodología de diseño de producto, la caracterización de diferentes mezclas de naturaleza elastómero-termoplásticas con evaluación de propiedades mecánicas y la simulación mediante ingeniería asistida por computador (CAE), para la manufactura de dispositivos llamados "chapetas" empleados en la identificación y control de semovientes.

Desde el diseño de producto y con base en la caracterización de material referente a través de la técnica de espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) se desarrollan nuevas mezclas sustitutas a la referente, después de la exposición a radiación UV a 320 horas, son evaluadas mediante diferentes propiedades mecánicas y químicas, como dureza y FTIR. Con las características y geometrías de 3 pre diseños, se trabajó con el diseño más apropiado de acuerdo a las necesidades y requerimientos del cliente, además de su pertinencia a partir de la metodología de especificaciones de diseño de producto (PDS) [1]–[3]. Este diseño y la evaluación de las mezclas obtenidas fueron las condiciones iniciales para el análisis CAE en Software Sigmasoft®, especializado en simulación de moldeo por inyección de elastómeros. La simulación arroja resultados importantes de temperatura, presión de compactación o sostenimiento y otras variables importantes a tener en cuenta para un procesamiento adecuado de la mezcla con mejores propiedades, con el fin de determinar las condiciones ideales y aspectos importantes a tener en cuenta en la fabricación del molde garantizando eficiencia en la fabricación del producto final.

Palabras Clave: Especificaciones de diseño de producto (PDS), Caracterización de mezclas, Elastómeros termoplásticos, Simulación CAE, Chapetas.

1. INTRODUCCIÓN

Una actividad esencial en el desarrollo de un proyecto es definir de manera eficiente el diseño del producto en función de las características solicitadas por el cliente y la infraestructura técnica con la calidad que garantiza su funcionalidad y respuesta para la cual ha sido concebido [4]. A mediados de la década de 1980 en Inglaterra, el profesor Stuart Pugh propuso una metodología de diseño de producto denominado especificaciones de diseño del producto: PDS [2], este modelo ha sido ampliamente utilizado por muchos diseñadores de todo el mundo por sus creaciones y por la forma en que se enfoca en el cliente. Un estudio llevado a cabo en el diseño y rediseño para un producto, vehículos de la Universidad Brigham Young, logró resultados positivos y desarrolla una tendencia en el proceso de diseño con la implementación de esta metodología. El equipo utilizó un diseño centrado en el cliente mediante el desarrollo de la especificación del producto directamente de los estados de cuenta del cliente y retrató la información obtenida a través del uso de matrices para evaluar la capacidad de los conceptos extraídos para cumplir las especificaciones que dichos clientes requerían [5] . Con el proceso de diseño obtenido se desarrolla la caracterización del material referente y el diseño de mezclas alternativas como material sustituto, estas mezclas están compuestas por material elastómero termoplástico, un material reforzante perteneciente al grupo de las poliolefinas como lo es el polipropileno (PP) y algunos aditivos con buen desempeño a la radiación Ultravioleta-UV y agentes microbianos, condiciones esenciales en la funcionalidad del producto. Actualmente los materiales (a base de poliuretano termoplástico y dióxido de titanio) utilizados por los fabricantes del producto, han presentado defectos de grietas y ruptura prematura, de acuerdo a

los reportes del área de calidad de empresas comercializadoras y productoras del producto, esto es, después de un tiempo determinado la chapeta se vuelve frágil, tiende a fragmentarse fácilmente y pierde su flexibilidad, posiblemente por los diferentes agentes externos, radiación UV y agentes microbianos.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE PRODUCTO

La Figura 1 presenta las entradas a la izquierda con las salidas; a la derecha, en donde, a través de la metodología de diseño como proceso de transformación de la información y requerimientos del cliente se debe lograr el diseño eficiente del producto, que se debe evidenciar en sus especificaciones finales (tabla 1). La etapa de diseño conceptual y la etapa de diseño detallado pueden o no pueden llevarse a cabo de forma independiente. Si los requisitos, las características y las restricciones funcionales están en función de un conjunto de variables de diseño, y este conjunto de variables de diseño son totalmente independientes del conjunto desde el cual las características y las restricciones del producto están en función, entonces ambas etapas de diseño son totalmente independientes [6].

En la parte inferior derecha de la Figura 1, se presenta el proceso cíclico e iterativo del diseño, en principio se presentan las necesidades y requerimientos del cliente, las cuales pueden ser concretizadas en funciones *f(x), g(x), h(x)* compuestas por variables de diseño (x) fundamentales para la funcionalidad del producto, estás variables conformarán el dominio posible del espacio solución de dichas funciones, lo cual se plasma en la etapa de síntesis y posteriormente se analiza al tomar los valores posibles.

2.1.1 Principios de diseño, información de entrada

Los principios de diseño aplicables al producto tendrán una tabla que contendrá la información inicial que delimitará las condiciones de diseño, con los aspectos que se ilustran en la información de la Tabla 1. Esta metodología de diseño ha sido ampliamente estudiada e implementada en diferentes trabajos de diferentes autores, y está respaldado por el modelo de especificación de diseño de producto (PDS) propuesto para Pugh [3], [7]. La geometría se refiere a las medidas generales del dispositivo chapeta y responde a la regulación estándar según la norma ISO (ISO 11784: 1996, ISO 11785) y la ficha de identificación nacional de animales [8].

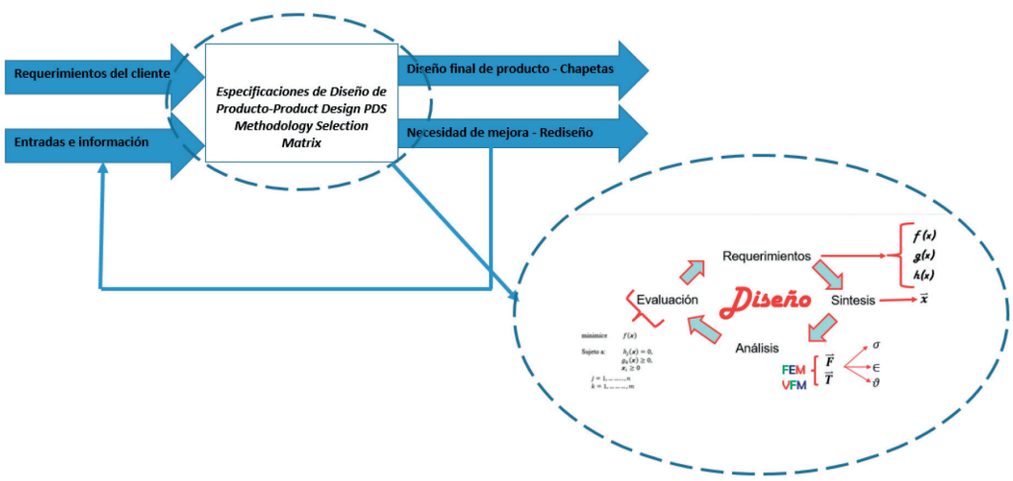


Fig. 1: Esquema general de caja negra y proceso iterativo de diseño

Elemento	Requerimiento	Necesidad o deseo	Interpretación	Especificación Final
Principio de diseño a ser analizado	Rango de condicaciones definidas por el cliente y especificaciones técnicas	Clasificación: Necesidad o deseo	Interpretación ingenieril de las condiciones y especificaciones del cliente o condiciones técnicas	Valores, atributos, calidades y/o cantidades para representar el principio de diseño analizado
Geometría	Altura mínima 68 mm Altura máxima 80 mm	N	La altura del elemento debe estar entre 68 y 80 mm	Altura: 80 mm
	Ancho mínimo 55 mm Ancho máximo 62 mm	N	El ancho del elemento debe estar entre 55 y 62 mm	Ancho: 58 mm
	Máximo espesor 1.5 mm	N	El máximo espesor de la parte no debe exceder 1.5 mm	Espesor: 1.5 mm
Material	Material flexible	N	El material de la chapeta debe ser flexible con mínimo riesgo de fatiga y ruptura	Material elastomérico termoplástico: TPU (Poliuretano termoplástico elastomérico)
Costos	La chapeta debe ser económica para altos volúmenes de producción	D	Se pretende que el diseño obtenido sea de un costo menor de 2US/ud para volúmenes 1000 unidades o más	Máximo costo de 2US para altos volúmenes de producción (>1000 unidades)
Ergonomía	El producto es fácilmente ensamblable y práctico para ubicar en diferentes animales	D	Se pretende que las chapetas sean fácilmente ubicadas y aseguradas en la oreja del animal	En etapa de estudio
Calidad	La chapeta es de alta durabilidad y buen desempeño a diferentes condiciones climáticas	D	Se pretende incluir aditivos para la durabilidad y protección a las diferentes condiciones climáticas y organismos microscópicos.	En etapa de estudio

Tabla 1: Información modelo inicial para las condiciones de entrada del cliente y validación final del proveedor

2.2. MEZCLAS POLIMÉRICAS

Las mezclas sustitutas se componen de material termoleastómero Vistamaxx 6202FL del fabricante ExxonMobil [9], polipropileno (PP) homopolímero PH310 de Petroquim [10] como carga de relleno y un par de aditivos, uno en presentación masterbatch a base de polietileno y otro en polvos Uvasorb HA19 [11] , estos aditivos se incluyen en la mezcla con el fin de mejorar su desempeño frente a la radiación ultra violeta (UV), a los agentes microbianos y oxidantes presentes en el medio ambiente. Además, otro tipo de mezcla sustituta evaluada es a base de polímero Vistamaxx, los cuales son copolímeros de rendimiento de estructura semicristalina con contenido amorfo sintonizable que son compatibles con otros poliolefínicos, brindan atributos al producto como dureza, adhesión, sellado, elasticidad y flexibilidad, indispensables para la funcionalidad de la chapeta. Los porcentajes de los componentes de cada mezcla se presentan en la Tabla 2.

Las mezclas se desarrollaron en el reómetro de torque marca Thermo Electron modelo Polylab QC (Estados Unidos) a condiciones de mezcla de 60 RPM, rango de torque de 0-300 Nm y 190°C, posteriormente se moldearon por compresión en una prensa de transferencia de calor (placas de 40 x 70 cm) y se troquelaron en una máquina dispositivo "punzón para troquelado ensayo de tracción (Hollow die punch)" del fabricante INSTRON (Estados Unidos) de acuerdo a las dimensiones de la norma referente de ensayos de tensión ASTM D638-03 [12] . Los ensayos de tensión realizados a las mezclas se desarrollaron en la máquina universal de ensayos marca SHIMADZU (Japón), modelo AG 100 kNX con celda de carga 500N SHIMADZU tipo SL-BL-500 N C719201 a una velocidad de 200 mm/min. Las mezclas y la muestra referencia fueron sometidas a radiación UV de acuerdo a el estándar ASTM [13] que indica una exposición de 320 horas a una intensidad de onda de 340 nm.

2.2.1. Caracterización de mezclas poliméricas

Se presenta la caracterización FTIR para las mezclas y el análisis respectivo surge de la literatura existente en polímeros [14] . El objetivo es seleccionar el diseño apropiado de chapeta de acuerdo con las necesidades del cliente, desarrollar una mezcla polimérica alternativa al referente comercial a base de elastómero termoplástico, y, por último, simular el proceso de llenado y obtención de la chapeta mediante análisis CAE.

Las lecciones aprendidas en el proceso de diseño se consideran para desarrollar la aplicación de las partes relevantes para las chapetas elaboradas de material termoplástico, usadas en el control visual del ganado. Como referente se presenta en la Figura 2 una chapeta comercial para el control de ganado y la identificación visual, que está compuesta de dos materiales. El material utilizado para la inserción en la oreja del animal corresponde a una Poliamida PA6 (material tipo 1), mientras que el material donde debe reposar el número de identificación (material tipo 2) es una sustancia que es un poliuretano termoplástico elastomérico. Se realiza una evaluación del material para confirmar la composición química y algunas propiedades mecánicas del material (tensión y dureza) lo cual se presenta en el apartado de resultados. Se realizaron análisis de espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier (FTIR) para observar las características estructurales y los grupos funcionales. Los espectros FTIR se realizaron en un rango de número de onda de 4000-400 cm-1 en un espectrofotómetro infrarrojo marca SHIMADZU modelo IRT racer-100.

2.3. SIMULACIÓN CAE: MÉTODO DE ELEMENTOS Y VOLUMENES FINITOS

La simulación CAE permite predecir y conocer el comportamiento del material en su etapa de procesamiento, muchos autores en sus trabajos experimentales utilizan esta técnica para validar y confrontar los resultados simulados e implementarlos en las series de producción reales. Song et al, utilizaron la técnica CAE para el estudio y análisis del moldeo por compresión de fibras de carbono con compuestos de naturaleza termoplástica [15], los resultados permitieron conocer el comportamiento de las fibras moldeadas con fines de lograr altos volúmenes de producción y comparar algunos resultados experimentales medidos en la pieza con los simulados tales como la orientación de las fibras después del procesado y el alabeo en la pieza obtenida, esto influirá en las propiedades finales del material luego de su producción.

Existen técnicas para analizar el comportamiento de un producto y sus valores respuesta de las variables que lo condicionan en un problema de ingeniería multifísico, dos de ellos son el método de elementos finitos (FEM) y el método de volúmenes finitos (VFM), ambos métodos consisten en una técnica computacional usada para obtener soluciones aproximadas para el comportamiento de las variables respuesta en los límites de determinado problema de ingeniería [16], varios elementos y/o volúmenes conforman un dominio definido de dicho problema , en VFM el elemento se presenta tridimensionalmente como volumen y los cálculos se hacen con base a la ubicación central de un nodo en el elemento, los nodos son puntos definidos que delimitan los ele-

	% Vistamaxx 6202 FL	*% PP PH310-1*	*% PP PH310-2*	*% Aditivo Masterbach*	*% Aditivo UV- Uvasorb HA19 Polvo*	*% Aditivo TIO2*	*% Total*
Mezcla 1 (11)	70%	27%		3,0%			100%
Mezcla 2 (13)	70%		28,5%	1,5%			100%
Mezcla 3 (15)	80%	17%		3,0%			100%
Mezcla 4 (16)	80%	18,5%		1,5%			100%
Mezcla 5 (20)	77,5%		17,5%			5,0%	100%
Mezcla 6 (21)	77,5%	17,5%			5,0%		100%

Tabla 2: Porcentaje de componentes para seis mezclas evaluadas como material sustituto

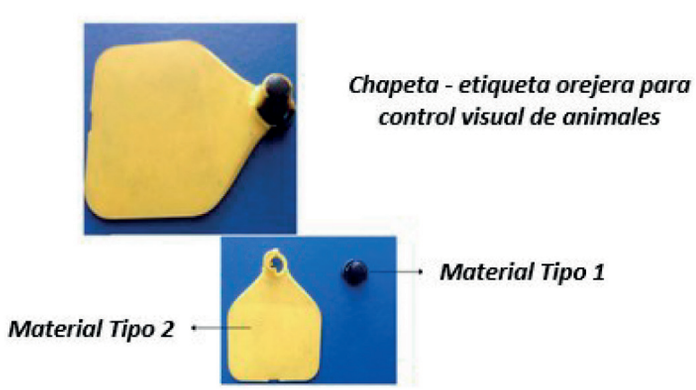


Fig. 2: Producto referencia para la caracterización del material

mentos o volúmenes finitos y contienen información física necesaria para resolver dichos problemas.

3. RESULTADOS

3.1. DISEÑOS PRELIMINARES

Fueron estudiadas un total de 3 propuestas para las chapetas basadas en los materiales especificados, la fabricación y los elementos PDS enumerados anteriormente, (a partir de la Tabla 1) que se propusieron construir entre estas mismas funciones. Los diferentes elementos también están calificados para seleccionar el mejor diseño para la etiqueta orejera del producto.

3.1.1. Diseños preseleccionados

Los diseños preseleccionados se muestran en la Figura 3, de acuerdo a las diferentes muestras de referencias comerciales y especificaciones técnicas de acuerdo a los estándares ISO 11784, ISO 11784 AMD1 y las fichas técnicas de identificación nacional [8].

Basado en los 3 pre diseños, se realizó una exploración aleatoria con diferentes clientes comerciales que distribuyen el producto a los clientes intermedios y finales, contando con su aprobación y funcionalidad, los tres diseños (b, c, d), uno de ellos, el diseño b, es analizado mediante CAE en la sección 3.3.

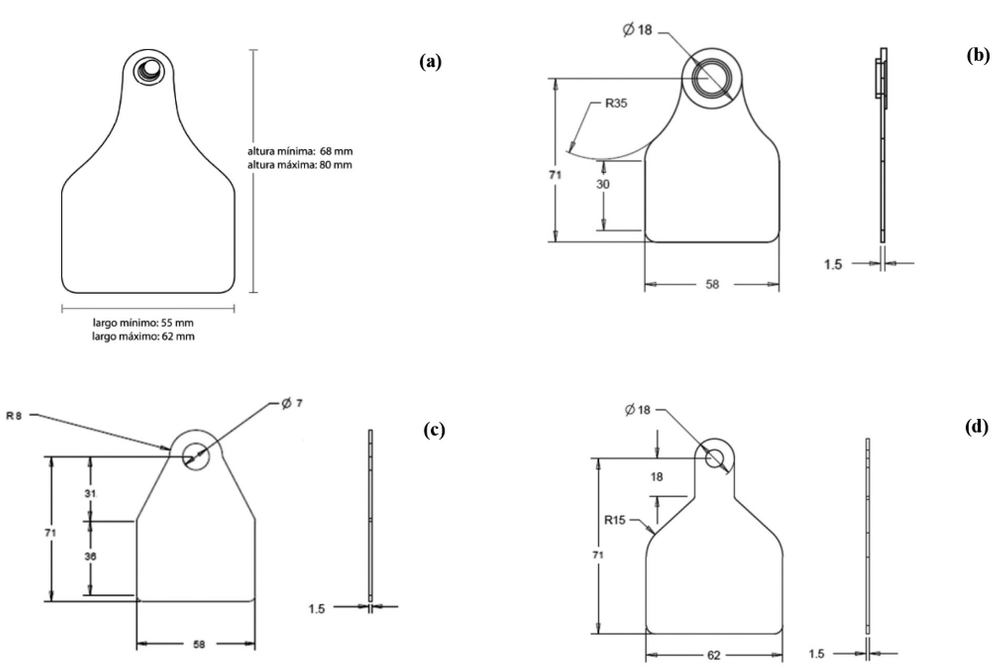


Fig. 3: Diseños presentados para orejeras de acuerdo a ficha técnica de dispositivo de identificación animal [8]. (a) Chapeta referencia. (b) Chapeta propuesta diseño 1.b (c) Chapeta propuesta diseño 2.c (d) Chapeta propuesta diseño 3.d

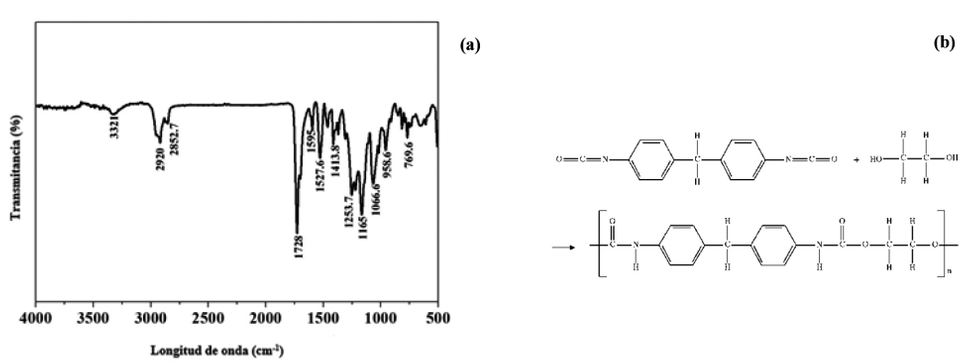


Fig. 4: Espectroscopia y estructura química del material referencia. (a) Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier para el material tipo 2. (b) Estructura química del poliuretano

3.2. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

3.2.1. Espectroscopía infrarroja con Transformada de Fourier

La Figura 4 muestra el espectro FTIR del polímero que forma parte de la pieza referente. El espectro FTIR del polímero muestra que es un poliuretano termoplástico elastomérico (TPU), presentando bandas de absorción características de este material a 3321 cm-1 (estiramiento simétrico de NH), mientras que las bandas ubicadas a 2852 cm-1 y 1413 cm-1 están asociadas con el estiramiento del grupo CH2 [17]. Se muestran bandas de absorción fuertes a 2920 cm-1 atribuidas al estiramiento simétrico del grupo C-H [18] . La banda de absorción fuerte a 1728 cm-1 está asociada con la presencia de un grupo C = O. Otros modos de vibración identificados por las bandas en 1253, 1165 y 1066 cm-1 corresponden al grupo CN. Se observa una banda moderada a 1066 cm-1 debido al estiramiento de los enlaces C-O-C [19] . Las bandas moderadas 1527 y 1595 cm-1 se atribuyen al grupo de estiramiento (CN + NH), amida II [14]. El lado derecho de la Figura muestra la estructura química del poliuretano utilizado en la fabricación de las chapetas - orejeras.

3.2.2. Ensayos mecánicos y caracterización FTIR a mezclas sustitutas

Los ensayos de tensión y dureza fueron realizados con base a los referentes ASTM D638-03 [12], para ensayos de tensión de materiales plásticos y ASTM 2240-05 [20] para ensayos de dureza de esta clase de materiales, se hicieron 5 probetas para ensayos de tensión y dureza, tal como indican las normas referentes y se registró el resultado promedio de las 5 mediciones para cada propiedad, para el caso de dureza se hicieron mediciones en diferentes zonas de diferentes probetas realizadas para cada mezcla y para tensión se fallaron 5 probetas de cada mezcla. De acuerdo a la Figura 5a, la mezcla 2 (70%Vistamaxx, 28,5% PP2, 1,5% Aditivo Masterbatch para UV) presenta los mejores resultados en esfuerzo último de tensión 11,87 MPa frente al material referencia que obtuvo una resistencia máxima de 15,49 MPa, esto representa un buen avance en la búsqueda de un material sustituto, ya que las propiedades no disminuyen en más del 25% (específicamente en 23,4%). Respecto al desempeño en dureza, se muestra la Figura 5b, los resultados fueron mejores con respecto a todas las mezclas evaluadas y el material referente, igualmente el material de la mezcla 2 presentó los mejores resultados (92,6 escala shore A)

antes de la exposición UV con una disminución de propiedades del 2,36%, y después de la exposición UV obtuvo un 88.8 frente a 91.4 (escala shore A) que logró el material referente, lo que representa una disminución del 2.84% luego de la exposición UV de ambas muestras.

Uno de los principales problemas de piezas fabricadas con materiales poliméricos, es su inestabilidad química cuando están expuestos en un ambiente exterior. La inestabilidad se puede presentar por varios factores como reordenamiento de la estructura química, formación de productos de oxidación, reticulación y/o escisión en cadena [21]–[23]. Por ejemplo, la radiación UV pueden producir la formación de algunos grupos funcionales como los grupos carbonilo (C=O), hidroxilo (O-H), carboxilo (COOH) o peróxido (O-O) [24]–[26]. Estos procesos degradativos son responsables de la disminución en la vida útil de los polímeros a largo plazo [27], [28]. Existen diferentes métodos para evaluar los efectos del envejecimiento, desde una simple estimación en el cambio de color, hasta la determinación de variación de propiedades mecánicas o químicas de los materiales. Para mejorar su ciclo de vida, se utilizan diferentes tipos de aditivos tanto para el procesamiento como para la estabilización según el medio expuesto (ejm radiación UV) para prevenir el deterioro prematuro del material polimérico.

Las muestras han estado expuestas a la radiación UV en una cámara QUV Probador de intemperismo acelerado de Q-LAB con cuatro lámparas fluorescentes de potencia UVA-340, proporcionando una intensidad de 0.89 +/- 0.1 W/m2. Las condiciones de prueba fueron de 8h bajo radiación UV a 60 °C seguido de 4h bajo humedad condensada. Las muestras se expusieron a una distancia de 50 mm de la fuente UV. Las exposiciones se realizaron ininterrumpidamente, 24 horas al día durante todo el ensayo hasta 320 horas. El perfil de degradación a través del espesor ha sido caracterizado usando espectroscopia FTIR. El efecto de dicha degradación sobre las propiedades mecánicas a través cambios en dureza, utilizando la técnica de nano-indentación.

Térmico	Valor nominal
Temperatura de secado	130 a 239°F (54-115°C)
Tiempo de secado	2.0 a 4.10 Hr
Temperatura promedio	365 a 403°F (185 a 206°C)
Temperatura de fundido	393 a 442°F (200 a 442°C)
Temperatura de molde	61 a 126°F (16 a 50°C)
Presión de inyección	9760 a 12500 psi – 672.9 a 861.84 bar
Presión de sostenimiento	106 a 800 psi – 7.3 a 55.15 bar
Velocidad del tornillo	59 a 130 RPM

Tabla 3: Propiedades típicas de inyección para un material poliuretano termoplástico elastomérico [31]

Para caracterizar las mezclas y su posible degradación foto-oxidativa, se utilizó la espectroscopia infrarroja. En la Figura 5c, se muestran los espectros FTIR obtenidos a 0 horas y 320 horas de exposición en cámara UVA. En los espectros a 0 horas se pueden apreciar picos característicos del PP con asignaciones principales para los siguientes grupos funcionales específicos: νas (Metil -CH3) 2960 cm-1; νs (-CH3) 2910 cm-1; νas (Metileno - CH2 -) 2870 cm-1; νs (- CH2 -) 2840 cm-1; δas (-CH2-) 1460 cm-1; δs (-CH3) 1370 cm-1.

Por otro lado, en los espectros FTIR después de exposición en UV durante 320 horas, se encontraron nuevas bandas alrededor de 1650 a 1745 cm-1. Cuando el PP se expone a radiación UV, la energía absorbida por el polímero resulta en la formación de radicales libres dentro del polímero por la disociación de los enlaces C-H en la cadena molecular. Una vez que los radicales libres han sido producidos, las reacciones con el oxígeno generan productos de descomposición incluyendo aldehídos y cetonas [29]. La presencia de estos grupos, atribuidas al estiramiento de grupos carbonilos en un polímero degradado puede utilizarse como índice químico de degradación; la cual se observa en las mezclas 1 y 3 (Figura 5c). Estos grupos, actúan como iniciadores de mecanismos de fotodegradación o degradación con predominio de escisiones de cadena [21], [30]. De acuerdo a reportes de literatura , los grupos carbonilo (principalmente cetonas, ésteres y ácidos) detectados por espectroscopia infrarroja entre 1600- 1800 cm-1 afectan algunas propiedades mecánicas y vida útil de un material polimérico [24].

La banda correspondiente al carbonilo que se encuentra a 1745 cm-1, se atribuye a ésteres o vibración carbonílica de los ácidos carboxílicos asociados a los grupos hidroxilos a un hidroperóxido. Estos grupos carbonilos se formaron principalmente después de la degradación de la matriz de PP causada por la oxidación UV y asociada con la escisión de la cadena β, que reduce el peso molecular y, por lo tanto, se puede esperar que la formación de carbonilo se relacione con la fragilidad. El grupo carbonilo puede oxidarse aún más para romper la cadena, lo que debilita el material al reducir su peso molecular, y comienzan a aparecer grietas en las regiones afectadas.

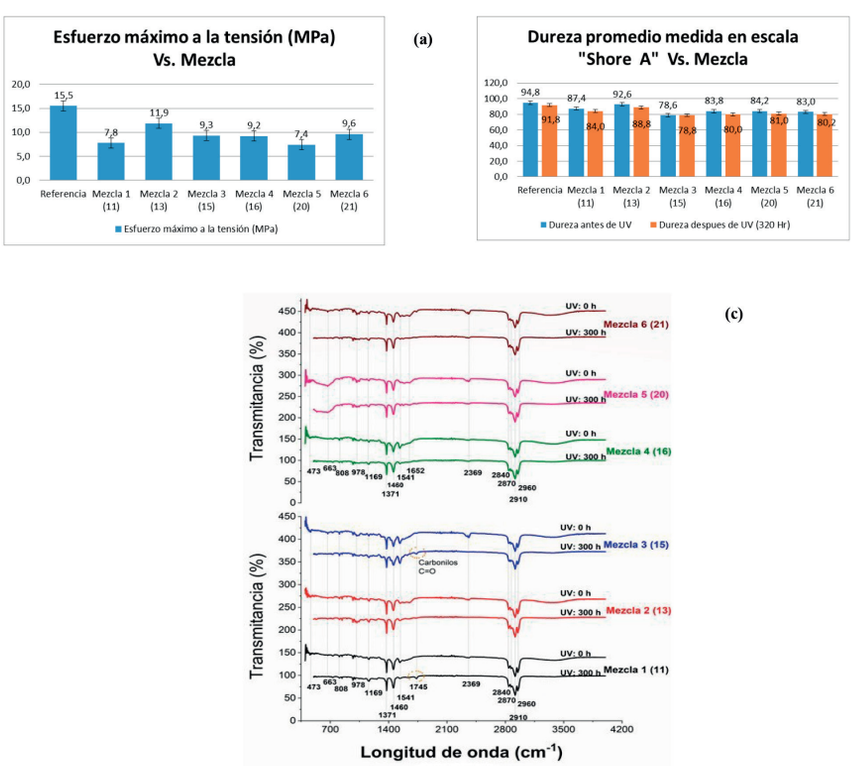


Figura 5: Graficas de resultados antes y después exposición a radiación ultravioleta de algunos ensayos. (a) Resultados esfuerzo máximo de tensión (b) Resultados ensayo de dureza "escala Shore A" (c) Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier a las mezclas sustitutas

3.3. SIMULACIÓN CAE DEL PRODUCTO

Mediante CAE se realizó un diseño de molde de dos cavidades, para la inyección

Nivel	Tiempo de pos-presión (s)	Tiempo de refrigeración (s)	Temperatura de molde (°C)	Temperatura de inyección (°C)
+	4	25	70	240
-	2	15	50	215

Tabla 4: Niveles determinados para tiempos de pospresión, refrigeración y temperaturas de molde y de inyección

Tiempo de pos -presión (s)	Tiempo de refrig-eración (s)	Temperatura de molde (°C)	Temperatura de inyección (°C)	Presión de inyec-ción (bar)	Fuerza de cierre (Ton)	Máxima deformación final de la pieza (mm)
2	15	50	215	568,1	84,1	0,94
2	25	50	215	568,1	84,1	0,75
4	15	50	215	568,1	84,1	0,94
4	25	50	215	568,1	84,1	0,75
2	15	70	215	565,3	82	1,1
2	25	70	215	565,3	82	0,96
4	15	70	215	565,3	82	1,1
4	25	70	215	565,3	82	0,96
2	15	50	240	560	80,5	1,52
2	25	50	240	560	80,5	1,38
4	15	50	240	560	80,5	1,52
4	25	50	240	560	80,5	1,38
2	15	70	240	557,4	78	1,55
2	25	70	240	557,4	78	1,41
4	15	70	240	557,4	78	1,55
4	25	70	240	557,4	78	1,41

Tabla 5: Valores de procesamiento evaluados en la simulación del moldeo por inyección a diferentes niveles de tiempo, refrigeración, temperaturas de molde y de inyección. (El nivel de presión determinado está basado en la presión de inyección obtenida con un perfil de presión hacia abajo)*

de un TPU (material similar al Termoelastómero Vistamaxx) la simulación mediante CAE permite reducir las deformaciones de la pieza final, La Tabla 3 muestra los valores de referencia del procesamiento para la inyección de TPU.

La Tabla 4 presenta los niveles alto (+) y bajo (-) para los tiempos de procesamiento tales como los tiempos de pos presión, refrigeración, las temperaturas de procesamiento tales como la temperatura de molde y de inyección. Estos valores son datos de entrada que permiten determinar las variables de respuesta como la presión de inyección del material, la fuerza de cierre y la máxima deformación de la pieza presentados en la Tabla 5.

De la Tabla 5, se observa que, los valores de temperaturas de molde y de inyección, 50° y 215° respectivamente en niveles inferiores (-), resaltados en color gris en la parte superior de la tabla, presentan variables de estado de presión de inyección de 568,1 bar y fuerza de cierre de 84,1 ton con una deformación máxima de la pieza de 0,94 mm. Para los valores resaltados en fondo de color verde en la parte inferior de la tabla, a temperaturas más altas de molde y de inyección (70°C-240°C), niveles (+), los niveles de presión y la fuerza de cierre-sujeción se reducen 557,4 bar (1,88% de reducción) y 78 ton (7,25% de reducción), sin embargo, las deformaciones finales de la pieza aumentan a 1,55 mm (64,89% de aumento), un valor significativo. Además, trabajar en el rango de temperatura más alto puede aumentar el riesgo de que se produzcan dimensiones fuera de la tolerancia de la pieza [32] o una posible degradación del material debido a los altos tiempos de sostenimiento, dependiendo de la capacidad de inyección del inyector utilizado. La fuerza de cierre debe ser mayor de 84,1 ton, como se presenta para todos los casos de la variable de estado en la Tabla 5, la capacidad actual de la máquina inyectora con la cual se cuenta es de 100 ton para la fuerza de cierre, lo cual comprueba que es viable realizar el moldeo con la capacidad instalada.

La Figura 6, muestra los gráficos respectivos de presión de inyección, y deformación final, presentados a 2 segundos de tiempo de empaque, 15 segundos de tiempo de enfriamiento, temperaturas del molde de 40 ° C y temperatura de inyección de 215 ° C.

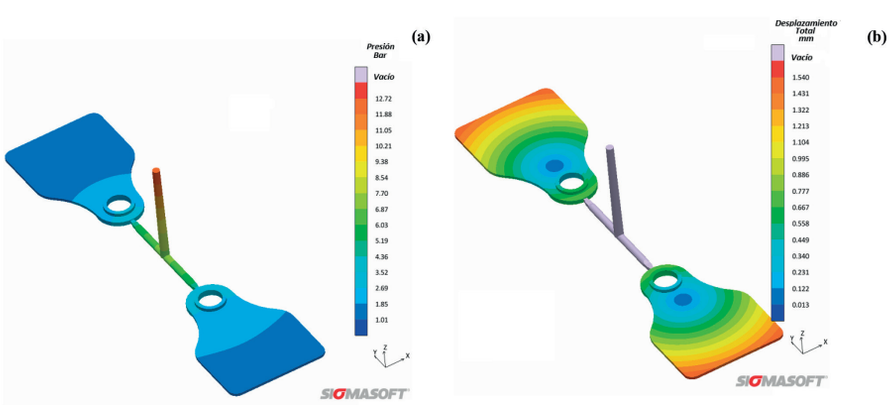


Fig. 6: Simulación y análisis de ingeniería asistido por computador del comportamiento de la pieza a condiciones de: 2 segundos del tiempo de compactación, 15 segundos de tiempo de refrigeración, 40°C de temperatura de molde y 215°C de temperatura de inyección. a) Presión de inyección en la pieza b) Desplazamiento total de la pieza

En la Figura 6b, se muestra la deformación final a los 2 segundos del tiempo de empaque, 15 segundos del tiempo de enfriamiento, temperaturas del molde de 40 ° C y temperatura de inyección de 215 ° C. La simulación del software CAE presenta datos que validarían una prueba experimental para realizar el proceso respectivo, las capacidades están de acuerdo con la capacidad instalada para diferentes variables para el proceso de inyección.

5. CONCLUSIONES

Se realizó una metodología de PDS donde se obtuvo un diseño adecuado para satisfacer los requisitos establecidos. A

partir de estos resultados, fue posible definir el polímero que se verificó con la caracterización utilizando técnicas FTIR de las mezclas sustitutas y la evaluación del comportamiento de propiedades mecánicas como esfuerzo máximo de tensión y dureza, la mezcla con mejores desempeños en cuanto a las propiedades mecánicas de tensión y dureza frente al material referencia fue la mezcla 2 (compuesta por un 70%Vistamaxx, 28,5% PP2, 1,5% Aditivo masterbatch para UV) logrando unas disminuciones del 23,4% en resistencia a la tensión y (2,4% antes de UV y 2.84% después de UV) en dureza, respectivamente en comparación con el material referente (TPU).

Los resultados de la caracterización FTIR mostraron que en las mezclas 1 y 3 después de exposición a radiación UV, aparecen reacciones de oxidación que provocan escisiones en las cadenas moleculares del polímero. Estas reacciones ocurren preferentemente en la fase amorfa debido a una mayor permeabilidad del oxígeno como consecuencia de la degradación. La presencia de grupos carbonilos detectados entre 1600-1760 cm-1, es evidencia del grado de degradación oxidativa. Picos en esta región se atribuyen al estiramiento C=O de terminales de cadena oxidada y productos de oxidación [25], [33], [34].La formación o desaparición de grupos funcionales en los polímeros durante el proceso de degradación pudo ser monitoreada por espectrometría FTIR.

Los resultados obtenidos en este trabajo son el punto de partida de la investigación en el desarrollo de materiales sustitutos y el procesamiento eficiente en moldeo por inyección de materiales de naturaleza elastomérica y termoplástica, como poliuretano (PU) y TPU.

REFERENCIAS

[1] K. T. Ulrich and S. D. Eppinger, Product Design and Development: Fifth Edition. 2012.
[2] S. Pugh, Creating Innovative Products Using Total Design, 1st ed. New Jersey-EEUU, 1996.
[3] S. Pugh, Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering., no. February. Harlow, UK: Addison Wesley Publishing Company., 1991.
[4] R. Chase, R. Jacobs, and N. Aquilano, Administración de operaciones . Producción y cadena de suministros, Duodécima. Mc Graw Hill, 2009.
[5] B. Zollinger and R. H. Todd, "Rethinking the design paradigm: A customer-focused approach to designing a mini-baja vehicle," SAE Tech. Pap., 2000. https://doi.org/10.4271/2000-01-2651
[6] J. A. Gallego Sánchez, Statically Balanced Compliant Mechanisms: Theory and Synthesis, no. November. 2013.
[7] G. P. Bermudez, J. A. Garcia, and A. B. Lozano, "Application Design Methodology for Building a Device Foil Incremental Deformation by Double Point Method Dieless-DPIF," Proc. - 2014 Int. Conf. Math. Comput. Sci. Ind. MCSI 2014, no. January, pp. 64-68, 2014. https://doi.org/10.1109/MCSI.2014.23
[8] Instituto Colombiano Agropecuario, Ficha técnica de dispositivo de identificación nacional DIN. 2016.
[9] E. Mobil, "Mechanical and physical properties for VistamaxxTM 6202FL," Exxon Mob. Chem., pp. 1-2, 2013.
[10] H. de Aguirre, "Propiedades típicas para procesos de inyección - PP Homopolímero PH1310." Plassol S.A.S - Petroquim, Chile, p. 1, 2016.
[11] Sigma 3V - Plastic Additives Division, "Uvasorb Ligth Stabilizer - HA19," vol. 1, no. 1. 3V, Milan - Italy, p. 2.
[12] ASTM International, "ASTM D638-03 . Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics," vol. 12, no. 2. ASTM, Pensilvania. Unites States, pp. 1-8, 2004.
[13] ASTM International, "ASTM G154-16. Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials," Astm G154-16. ASTM, Pensilvania. Unites States, pp. 1-11, 2016.
[14] A. H. Kuptsov and G. N. (German N. Zhizhin, Handbook of fourier transform Raman and infrared spectra of polymers. Elsevier, 1998. https://doi.org/10.1016/S0921-318X(98)80016-7
[15] Y. Song et al., "CAE method for compression molding of carbon fiber reinforced thermoplastic composite using bulk materials," vol. 114, no. August, pp. 388-397, 2018. https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.09.002
[16] D. V. Hutton, Fundamentals of finite element analysis, 1st ed. Washington: McGraw-Hill Companies, 2004.
[17] A. Asefnejad, M. T. Khorasani, A. Behnamghader, B. Farsadzadeh, and S. Bonakdar, "Manufacturing of biodegradable polyurethane scaffolds based on polycaprolactone using a phase separation method: physical properties and in vitro assay.," Int. J. Nanomedicine, vol. 6, pp. 2375-84, 2011. https://doi.org/10.2147/IJN.S15586 PMid:22072874 PMCid:PMC3205133
[18] R. M. (Robert M. Silverstein, F. X. Webster, D. J. Kiemle, and D. L. (David L. Bryce, Spectrometric identification of organic compounds. .
[19] S. Caddeo et al., "Collagen/Polyurethane-Coated Bioactive Glass: Early Achievements towards the Modelling of Healthy and Osteoporotic Bone," Key Eng. Mater., vol. 631, pp. 184-189, Nov. 2014. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.631.184
[20] ASTM International, "ASTM D2240. Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness," vol. 05, no. Reapproved. ASTM, Pensilvania. Unites States, pp. 1-13, 2010.
[21] W. L. Oliani, D. F. Parra, and A. B. Lugao, "UV stability of HMS-PP (high melt strength polypropylene) obtained by radiation process," Radiat. Phys. Chem., vol. 79, pp. 383-387, 2010. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2009.08.037
[22] J. O. Akindoyo, M. D. H. Beg, S. Ghazali, H. P. Heim, M. Feldmann, and M. Mariatti, "Oxidative induction and performance of oil palm fiber reinforced polypropylene composites - Effects of coupling agent and UV stabilizer," Compos. Part A Appl. Sci. Manuf., vol. 125, no. April, p. 105577, 2019. https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2019.105577
[23] R. F. Navarro, J. R. M. D'Almeida, and M. S. Rabello, "Elastic properties of degraded polypropylene," J. Mater. Sci., vol. 42, no. 6, pp. 2167-2174, 2007. https://doi.org/10.1007/s10853-006-1387-7
[24] H. Ben, H. Salah, H. Ben Daly, J. Denault, and F. Perrin, "UV Degradation of Clay-Reinforced Polypropylene Nanocomposites," pp. 1-10, 2016. https://doi.org/10.1002/pen.24273
[25] W. . Oliani, D. F. Parra, L. F. C. P. Lima, and A. B. Lugão, "PHOTOOXIDATION BEHAVIOUR OF HMS-PP," 2009.
[26] A. Martínez-Romo, R. González-Mota, J. J. Soto-Bernal, and I. Rosales-Candelas, "Investigating the Degradability of HDPE, LDPE, PE-BIO, and PE-OXO Films under UV-B Radiation," J. Spectrosc., vol. 2015, pp. 1-6, 2015. https://doi.org/10.1155/2015/586514
[27] L. Barbes, C. Radulescu, and C. Stihi, "ATR-FTIR SPECTROMETRY CHARACTERISATION OF POLYMERIC MATERIALS," vol. 66, no. 3, pp. 765-777, 2014.
[28] W. L. Oliani, D. F. Parra, L. F. C. P. Lima, and A. B. Lugao, "Morphological characterization of branched PP under stretching," pp. 2121-2130, 2012. https://doi.org/10.1007/s00289-012-0708-z
[29] R. F. Æ. J. R. M. Navarro and A. Æ. M. S. Rabello, "Elastic properties of degraded polypropylene," no. February, pp. 2167-2174, 2007. https://doi.org/10.1007/s10853-006-1387-7
[30] W. L. Oliani, D. F. Parra, L. Filipe, C. P. Lima, and A. B. Lugão, "FOTOOXIDAÇÃO DO HMS-PP SOB CONDIÇÕES DE."
[31] Prospector, "Poliuretano termoplástico (TPU) Propiedades típicas Generic TPU-Polyether," Página web, 2019. [Online]. Available: https://plastics.ulprospector.com/es/generics/54/c/t/poliuretano-termoplastico-tpu-properties-processing/sp/10.
[32] P. E. C. Plenco, "Filosofía de Soluciones de Problemas en Moldeo," Plenco, Ed. Wisconsin. Unites States, 2009, pp. 1-12.
[33] G. H. Komatsu, W. L. Oliani, H. F. R. Ferreto, A. B. Lugao, and D. F. Parra, "Effects of environmental ageing on HMS- polypropylene / Cloisite nanocomposites Effects of Environmental Ageing on HMS- Polypropylene / Cloisite Nanocomposites," AIP Conf. Proc. 1593, vol. 257, no. February 2015, 2014. https://doi.org/10.1063/1.4873776
[34] S. Aslanzadeh, R. Semnani Rahbar, and M. Nazi, "Accelerating Role of Clay in Photo-Oxidation of Polypropylene / Clay Multifilament Yarns," vol. 32, no. 5, pp. 609-619, 2014. https://doi.org/10.1007/s10118-014-1426-9

AGRADECIMENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado bajos el amparo del convenio de colaboración entre el Instituto Tecnológico Metropolitano –ITM y la empresa IDTAG Company en el marco del proyecto de investigación: "Diseño de una mezcla polimérica como material sustituto para la fabricación de chapetas para el manejo y control de semovientes" con código de proyecto P17-102. Se expresa todo el agradecimiento a estas dos entidades y a todo el personal relacionado al proyecto.

MATERIAL SUPLEMENTARIO

https://www.revistadyna.com/documentos/pdfs/_adic/9485-1.pdf