EVALUACIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS QUE CONFIERAN ACABADOS EN ALTO BRILLO PARA SU APLICACIÓN EN PARRILLAS EXTERIORES MOLDEADAS EN COLOR NEGRO PARA EL SECTOR AUTOMOTRIZ

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN
MANUFACTURA AVANZADA

PRESENTA

ING.NURIA VENDRELL BARRAZA
ASESOR: DR. MANUEL GUTIÉRREZ NAVA

TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO, JULIO 2020

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR

Lerma de Villada, Estado de México, 19 de junio del 2020.

Mtro. Geovany González Carlos
Coordinador Académico de Posgrado
CIATEQ, A.C.

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del **ING. MECÁNICA NURIA VENDRELL BARRAZA**, una vez revisado su Proyecto Terminal de tesis, titulado **"EVALUACIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS QUE CONFIERAN ACABADOS EN ALTO BRILLO PARA SU APLICACIÓN EN PARRILLAS EXTERIORES MOLDEADAS EN COLOR NEGRO PARA EL SECTOR AUTOMOTRIZ"** autorizo que el citado trabajo sea presentado por el alumno para su revisión, con el fin de alcanzar el grado de **MAESTRA EN MANUFACTURA AVANZADA**.

Sin otro particular por el momento, agradezco la atención prestada.

DR. MANUEL GUTIÉRREZ NAVA
GERENTE SÍNTESIS Y FORMULACIÓN
CIATEQ, A.C.

Asesor en Planta

CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR

GOBIERNO DE MÉXICO

CONACYT

CIATEQ

San Luis Potosí, S.L.P., 24 de julio del 2020.

Dra. María Guadalupe Navarro Rojero
Directora de Posgrado
CIATEQ, A.C.

Por medio de la presente me dirijo a usted en calidad de Revisor del proyecto terminal de la alumna **Nuria Vendrell Barraza**, cuyo título es:

"EVALUACIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS QUE CONFIERAN ACABADOS EN ALTO BRILLO PARA SU APLICACIÓN EN PARRILLAS EXTERIORES MOLDEADAS EN COLOR NEGRO PARA EL SECTOR AUTOMOTRIZ"

Después de haberlo leído, corregido e intercambiado información con la alumna, y realizado los cambios que le fueron sugeridos, puede ser autorizada su impresión, a fin de que se inicien los trámites correspondientes para su defensa.

Sin otro particular por el momento, y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta en beneficio del estudiante y la institución, agradezco la atención prestada.

Atentamente,

Firma

Mayra del Angel Monroy

M. en C. Mayra del Angel Monroy

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

San Luis Potosí, S.L.P. | +52 (444) 824 (3310) | 800 800 5798 | mail@ciateq.mx | www.ciateq.mx

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. Manuel Gutiérrez Nava por su colaboración y apoyo en la realización de este trabajo.

A mis compañeros y amigos Roberto Ruiz, Mario Estrada y Enrique Rueda por el apoyo brindado desde el inicio de este proyecto, por su respaldo profesional y personal.

Y un agradecimiento especial a mi familia, mis padres Gloria Barraza y Jaime Vendrell, a mi amado hermano Yamil y a mi querido esposo Joaquín Real por su apoyo durante cada etapa de mi desarrollo profesional, ustedes son el motor de impulso para lograr cada meta.

RESUMEN

Las actuales exigencias de la industria automotriz y sus consumidores obligan a las empresas fabricantes de automóviles a desarrollar e innovar en nuevos materiales, buscando que sus componentes cumplan con los requerimientos y normas internas, así como con las exigencias de apariencia que demanda el consumidor.

Actualmente se manejan 3 opciones de materiales recomendados para su uso en la inyección de parrillas exteriores plásticas automotrices moldeadas en color, que para cumplir los requerimientos tienen que ser sometidos a procesos adicionales de evaluación y desempeño; sin embargo, estos materiales están limitados en algunas propiedades de desempeño y apariencia que resultan esenciales para el mercado automotriz.

El presente trabajo presenta un estudio comparativo entre los tres materiales comúnmente utilizados para la fabricación de parillas exteriores (TPO, ASA, PC) y tres materiales propuestos (ABS+PC, TPO+25% de fibra de vidrio, PP + 20% fibra de vidrio).

La comparación entre los materiales fue hecha con base en la determinación de sus propiedades mecánicas de tensión y resistencia al impacto, así como del brillo. De los resultados obtenidos se concluyó que, la mejor opción de material para la inyección de parrillas continúa siendo el PC, sin embargo, una alternativa viable sería el ABS + PC, sin embargo, este material presenta propiedades ligeramente menores en comparación con el PC tanto en tensión como en brillo e impacto.

Palabras clave: Ingeniería y tecnología, Tecnología de materiales, Plásticos.

ABSTRACT

The current demands of the automotive industry, as well as those of consumers, force to the manufacturing companies to seek improvement and innovation in their materials making sure that the components fulfill with internal requirements and standards, taking care of the part appearance that the consumer demands.

Currently there are 3 recommended material options for use in the injection of automotive molded in color plastic exterior grilles, components that needs to undergo additional evaluation and performance processes to assure meet the requirements; however, these materials are limited in some performance and appearance properties that are essential to the automotive market.

This dissertation shows a comparative study between the three materials commonly used for the manufacture of exterior grilles (TPO, ASA, PC) y and three proposed materials (ABS+PC, TPO+25% fiberglass, PP + 20% fiberglass).

The comparison between the materials was made based on their mechanical and optical properties. As a result of the tests it was concluded that, the best material option for exterior grilles still being PC, however, a possible alternative could be ABS + PC, but it is important to note that this material has slightly lower properties compared to PC both in terms of tension, brightness and impact.

Key words: Engineering and technology, Materials technology, Plastics.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR I
CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR II
AGRADECIMIENTOS III
RESUMEN IV
ABSTRACT V
ÍNDICE DE CONTENIDO VI
ÍNDICE DE FIGURAS IX
ÍNDICE DE TABLAS X
ABREVIATURAS XI
1. INTRODUCCIÓN 1
1.1 ANTECEDENTES 1
1.1.1¿Por qué evaluar nuevos materiales? *1*
1.1.2 Desventajas de los materiales actuales *1*
1.1.2.1 Policarbonato (PC) 1
1.1.2.2 Acrilonitrilo-estireno-acrilato (ASA) 2
1.1.2.3 Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) 2
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 2
1.3 JUSTIFICACIÓN 3
1.4 OBJETIVOS 4
1.4.1 Objetivo general *4*
1.4.2 Objetivos específicos *4*
1.5 HIPÓTESIS 4
2. MARCO TEÓRICO O FUNDAMENTOS TEÓRICOS 6
2.1 POLÍMEROS 6
2.2 CONCEPTOS GENERALES DE PARRILLAS EXTERIORES PLÁSTICAS 7
2.2 REQUERIMIENTOS PARA DISEÑO DE PARRILLAS EXTERIORES PLÁSTICAS 8
2.2.1 GMW15739 ..... *8*
2.2.2 GMW15583 ..... *8*
2.2.3 GMW16775 ..... *8*

2.2.4 GMW15572 ..... *8*
2.2.5 GMW14650 ..... *9*
2.2.6 GMW14093 ..... *9*
2.2.7 ASTM D523 ..... *10*
2.2.8 GMW15777 ..... *10*
2.2.9 Índice de fluidez (MFI) por sus siglas en ingles *11*
2.3 PROCESO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO 11
2.3.1 Moldeo por inyección *11*
2.3.2 Máquina de inyección *13*
2.4 POLÍMEROS UTILIZADOS ACTUALMENTE EN GENERAL MOTORS PARA PARRILLAS EXTERIORES 14
2.4.1 Poliolefina termoplástica (TPO) *16*
2.4.2 Acrilonitrilo-estireno-acrilato (ASA) *17*
2.4.3 Policarbonato (PC) *17*
2.4.4 Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) *18*
2.5 PRUEBAS REQUERIDAS 19
2.5.1 Características de la prueba de brillo *20*
2.5.2 Características de la prueba de impacto *20*
2.5.3 Características de la prueba de tensión *22*
2.6 PROBLEMÁTICA ACTUAL 23
2.6.1 Problemáticas de la Poliolefina Termoplástica (TPO) *24*
2.6.2 Problemáticas del Acrilonitrilo-Estireno-Acrilato (ASA) *24*
2.6.3 Problemáticas del Policarbonato (PC) *24*
2.6.4 Problemáticas del AcrilonitriloButadieno-Estireno (ABS) *25*
3. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN 26
3.1 METODOLOGÍAS DEL PROYECTO 29
3.2 PRUEBAS FÍSICAS 29
3.2.1 Prueba de Brillo *30*
3.2.2 Prueba de Impacto *30*
3.2.3 Pruebas de tensión *31*
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS 33
4.1 PRUEBA DE BRILLO 33

4.2 PRUEBA DE IMPACTO POR CAÍDA LIBRE 34
4.3 PRUEBA DE TENSIÓN 38
4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS 41
CONCLUSIONES 44
APORTACIÓN DE LA TESIS 45
APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS 46
RECOMENDACIONES 47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales componentes de una parrilla de fascia (7) 7
Figura 2. Resistencia al impacto, ingeniería asistida por computadora. (9) 9
Figura 3. Medición de brillo. La luz reflejada aumenta con el incremento del ángulo de iluminación. (10) 10
Figura 4. índice de flujo derretido. (11) 11
Figura 5. Molde de inyección. Componentes principales. (11) 12
Figura 6. Flujo de material para inyección de la parrilla. (11) 12
Figura 7 .Flujo de material para inyección de parrillas en molde de dos cavidades. (11) 13
Figura 8. Flujo de material para inyección de parrillas en molde de dos cavidades. (11) 14
Figura 9. Árbol de decisión de material para el diseño de parrillas. (12) 16
Figura 10. Brillo especular ASTM D523 (27) 20
Figura 11. Prueba de caída (28) 21
Figura 12. Prueba de péndulo (28) 21
Figura 13. Bola de acero (28) 22
Figura 14. Prueba de tensión (30) 23
Figura 15. Metodologías del proyecto.....29
Figura 16. Muestra de probetas para pruebas de brillo.....30
Figura 17. Muestra de probetas para pruebas de impacto.....31
Figura 18. Zwick/ Roell HIT230F (41) 31
Figura 19. Zwick/ Roell z030 (42) 32
Figura 20. Muestra de probetas para pruebas de tensión. 32
Figura 21. Gráfica fuerza – recorrido para TPO. 34
Figura 22. Gráfica fuerza – recorrido para ASA. 35
Figura 23. Gráfica fuerza – recorrido para PC. 35
Figura 24. Gráfica fuerza – recorrido para ABS+PC. 36
Figura 25. Gráfica fuerza – recorrido para TPO + 25% GF. 36
Figura 26. Gráfica fuerza – recorrido para PP + 20% GF.....37
Figura 27. Gráfica esfuerzo-deformación de TPO.....38
Figura 28. Gráfica esfuerzo-deformación de ASA. 39
Figura 29. Gráfica esfuerzo-deformación de PC. 39
Figura 30. Gráfica esfuerzo-deformación de ABS + PC.....40
Figura 31. Gráfica esfuerzo-deformación del TPO + 25% GF.....40
Figura 32 . Gráfica esfuerzo-deformación del PP + 20% GF. 41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa entre materiales amorfos y cristalinos (7) (11) (18) (19). 15
Tabla 2. Comparativa entre los cuatro polímeros termoplásticos utilizados en la inyección de parirlas exteriores (5) (18) (22) (21) (18) (23) (24) (25). 19
Tabla 3. Materiales Actualmente utilizados en la inyección de parrillas exteriores (12) (14) (15).....27
Tabla 4. Materiales propuestos utilizados en la inyección de parrillas exteriores (38) (39) (40) 28
Tabla 5. Resultados promedio y desviación estándar prueba de brillo especular 33
Tabla 6. Resultados promedio pruebas de impacto, tracción y brillo.....42

ABREVIATURAS

ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno
ABS + PC	Mezcla de Acrilonitrilo butadieno estireno y policarbonato
ASA	Acrilonitrilo estireno acrilato
GU	Unidades de brillo
GM	General Motors
PC	Policarbonato
TPO	Poliolefina termoplástica

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1¿Por qué evaluar nuevos materiales?

Las tres opciones que proporciona el catálogo de "materiales recomendados por General Motors" no cumplen al 100 % los requerimientos del cliente como son parrillas brillantes, que estéticamente sean atractivas y que no se rallen con facilidad. Se requiere tener materiales con un brillo superior a 80 GU y con un alto índice de resistencia y durabilidad, sin embargo, no se ha encontrado en el catálogo ninguno que cumpla con todos los requerimientos del cliente, algunos cumplen con el brillo; sin embargo, tienen un desgaste temprano como el PC, mientras que otros son más resistentes, pero con un brillo bajo como es el caso del ASA.

1.1.2 Desventajas de los materiales actuales

Actualmente se tienen y manejan 3 materiales recomendados en el catálogo de General Motors. A continuación, se enumerarán dichos materiales y los aspectos que aún no cubren con respecto a los requerimientos del cliente.

1.1.2.1 Policarbonato (PC)

- El PC es usado para parrillas que requieren alto brillo, 80 GU o superior; sin embargo, este material presenta desgaste temprano, lo que conlleva a problemas de garantía por insatisfacción del cliente (1).
- El constante ataque químico que recibe la parrilla por parte de los fluidos del limpia parabrisas, eventualmente fisura el PC.
- La parrilla de PC es susceptible a ralladuras.

1.1.2.2 Acrilonitrilo-estireno-acrilato (ASA)

- ASA, este material a resultado muy útil en las pruebas de durabilidad; sin embargo, el porcentaje de brillo en el que oscila se encuentra entre un 20 y 30 GU, y en las áreas o partes que necesita ser más brillante es necesario darle una textura rugosa a la superficie "granear el componente", lo que implica una alteración al molde y que implica una extensión de tiempo de 8 a 10 semanas adicionales para obtener el molde productivo final; no obstante, aun con ese graneado no se cumple el porcentaje de brillo requerido.

1.1.2.3 Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)

- La parrilla de ABS necesita ser pintada para cubrir los requerimientos de brillo, lo que impacta en costos, y agrega una operación más al proceso ya que después del proceso de inyección de la pieza es necesario pintarla.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La problemática actual a la que General Motors se enfrenta es, entregar componentes exteriores plásticos que sean atractivos a nuestros clientes, que sean a su vez lo suficientemente robustos para cumplir con las especificaciones técnicas que requiere la empresa y que eviten la utilización de procesos de manufactura adicionales al moldeo por inyección; sin embargo, en la actualidad los materiales aprobados no cumplen todas estas exigencias o requerimientos.

Los materiales aprobados por la empresa hasta el momento cumplen de manera parcial los requerimientos, por un lado, tenemos policarbonatos que cubren las exigencias de apariencia, pero con un muy bajo nivel de resistencia al impacto, y por otro lado ABS que tiene una excelente resistencia al impacto; pero una apariencia

que requiere un proceso de recubrimiento adicional para cumplir los requerimientos de apariencia. La opción ASA ha mostrado muy buenos resultados en pruebas de durabilidad; sin embargo, no cumple las exigencias de apariencia por sus bajos niveles de brillo.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La realización de este trabajo está motivada por el interés de dar solución a una problemática de la empresa General Motors. Actualmente esta problemática tiene una repercusión directa en la producción, la calidad, las ventas, quejas de clientes por desgaste prematuro de componentes o falta de brillo lo que afecta de manera directa a la empresa. Por lo que este proyecto, se enfoca principalmente a la búsqueda de una solución de alto impacto que ayude a minimizar la pérdida de recursos y a optimizar los procesos de producción asociados con la fabricación de parrillas exteriores.

Debido a que con los materiales que actualmente GM tienen especificados para el moldeado de parrillas exteriores en color negro, no cumplen al 100% con la satisfacción de sus clientes ya que estas no cubren las especificaciones de brillo, resistencia y durabilidad, por lo que resulta necesario y estratégico para GM evaluar nuevos materiales poliméricos capaces de cumplir con las especificaciones mencionadas.

El que GM pueda contar con un material que cubra las necesidades y satisfacción de sus clientes, así como los estándares de calidad de la empresa, conllevará a eliminar procesos secundarios como el graneo de moldes y pintado de parilla. Asimismo, ayudará a estandarizar la fabricación y uso de un solo tipo de parilla para varias versiones del vehículo, así como a eliminar la fabricación de componentes de sujeción especiales.

Todo lo aquí mencionado tendrá un impacto directo e inmediato en los tiempos de diseño y producción de parrillas, así como en el costo-beneficio para la empresa.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar materiales poliméricos que puedan ser utilizados para el moldeo de parrillas exteriores de color negro para autos, y que cumplan con especificaciones de brillo, resistencia al impacto y desgaste requeridas por GM.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Hacer una revisión del estado del arte enfocada a materiales poliméricos para moldeo de componentes (parrillas automotrices exteriores) con acabado en alto brillo.
2. Seleccionar materiales a evaluar y definir técnicas y metodologías para su evaluación, dicha selección estará limitada a 3 materiales.
3. Desarrollar prototipos de prueba con los materiales seleccionados (a nivel probetas para evaluación de propiedades mecánicas y de brillo).
4. Evaluar los prototipos de prueba en función de las variables críticas y parámetros definidos y aceptados dentro de especificaciones de GM.
    a. Brillo mayor o igual a 80 GU.
    b. Resistencia al impacto de mayor o igual a 2J

1.5 HIPÓTESIS

La hipótesis de esta investigación está basada en demostrar que existe una correlación entre el brillo, la resistencia a la tensión y la resistencia al impacto de los polímeros usados para la inyección de parrillas exteriores plásticas moldeadas en color negro.

Es posible encontrar un balance químico entre los compuestos poliméricos actuales que cubra de manera eficiente las exigencias, brillo y resistencia sin necesidad de ser sometido a un proceso de recubrimiento adicional.

2. MARCO TEÓRICO O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 POLÍMEROS

El término "polímero" del griego polys que significa "muchos" y meros que significa "parte", fue introducido por primera vez en 1833 por el químico sueco, Jöns Jakob Berzelius (2).

Un polímero es un material constituido por la unión de unidades de monómero que forman macromoléculas. Existen diferentes maneras de clasificar a los polímeros. Una de estas clasificaciones y quizá la más obvia se basa en el origen del polímero, clasificando a los polímeros como natural o sintético (3).

Existen diversas maneras de clasificar a los polímeros: (3)

- Por su origen: natural o sintético.
- Por su estructura.
- Por su mecanismo de polimerización.
- Por su comportamiento térmico.
- Por su uso final.

Los polímeros ofrecen una gran variedad de ventajas como son: resistencia a la corrosión, baja conductividad térmica y eléctrica, baja densidad, resistencia al impacto, transparencia, maleabilidad, etc. Es por ello que son utilizados en diferentes sectores industriales como el textil, automotriz, eléctrico, informático, por mencionar algunos ejemplos (4).

2.2 CONCEPTOS GENERALES DE PARRILLAS EXTERIORES PLÁSTICAS

En la actualidad el diseño de componentes exteriores ha tomado relevancia para la industria automotriz, tanto por la importancia de una apariencia que resulte atractiva para los clientes, como por la necesidad de cumplir las regulaciones de seguridad, las cuales son cada vez son más exigentes por parte del sector automotriz. Dos de los componentes que conforman el exterior de un vehículo son las fascias tanto frontales como traseras, que cubren principalmente las siguientes funciones: dar una apariencia atractiva al vehículo, contribuir con el coeficiente de arrastre / succión, proveer soporte a otros componentes y dar protección al resto de los componentes de vehículo (5) (6).

Las fascias están compuestas a su vez de un gran número de subcomponentes; en el caso de la fascia frontal esta contiene a la parrilla exterior, (5) (6) la cual es considerada como el componente que distingue a la marca del vehículo, contribuyendo también a la apariencia e identidad del fabricante; y le permite al vehículo cumplir con los requerimientos de flujo de aire al compartimento del motor (7) (8). En la Figura 1, se muestran los principales componentes que forman parte de una parrilla de fascia.

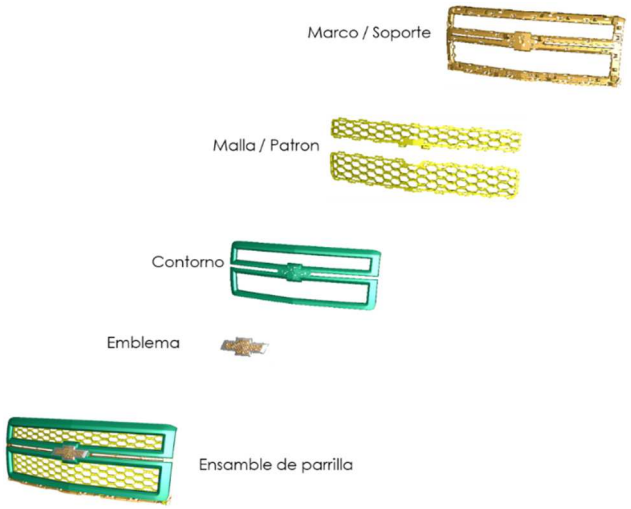

Figura 1. Principales componentes de una parrilla de fascia (7)

2.2 REQUERIMIENTOS PARA DISEÑO DE PARRILLAS EXTERIORES PLÁSTICAS

El diseño de parrillas exteriores está delimitado por estándares internos de General Motors y normatividad externa que se indican a continuación.

2.2.1 GMW15739

Esta norma cubre las propiedades de una aleación de Poliolefina con módulo de flexión nominal de 2500 MPa, resistente a la intemperie, en forma de pellet, compuesto para el moldeo por inyección. Para los fines de esta especificación, la aleación de Poliolefina se define como una aleación de plástico de polipropileno y caucho de etileno propileno (EP) o etileno propileno dieno (EPDM) (7) (9).

2.2.2 GMW15583

Esta especificación describe los tipos de materiales de mezclas de acrilato de estireno acrilato (ASA) y policarbonato (PC), que se utilizan en los componentes de inyección (9).

2.2.3 GMW16775

Esta especificación describe los tipos de materiales de copolímero de policarbonato que ofrecen todos los atributos de la resina de policarbonato (PC) estándar con resistencia a la intemperie mejorada sin la ayuda de un revestimiento protector. Esta norma establece números de código que distinguen entre diferentes niveles de resistencia a la intemperie en función de la formulación del color y los requisitos de las aplicaciones (10) (11).

2.2.4 GMW15572

Esta norma describe los tipos de materiales de terpolímero de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), que se utilizan en componentes de inyección o moldeados por soplado (12).

2.2.5 GMW14650

Esta norma cubre los requisitos de rendimiento de las piezas de plástico (moldeadas en color, pintadas o con revestimiento duro) utilizadas en aplicaciones exteriores para automóviles (12). Con respecto a la resistencia a la intemperie, se tiene una clasificación por niveles:

- Class 1 ≥ 4500 kJ /m2
- Class 2 ≥ 3500 kJ /m2
- Class 3 ≥ 2500 kJ /m2
- Class 4 ≥ 1250 kJ /m2

2.2.6 GMW14093

Esta norma hace referencia a la resistencia al impacto de componentes exteriores. Con un impacto de 2 Joules la superficie del sistema de "fascia / parrilla" no deberá mostrar una deformación permanente visible y será resistente al daño de los impactos simulados de piedras y grava, incluido el impacto multiaxial (14).

Análisis de impacto en áreas de interés a temperatura ambiente, 30 y 80 ° C.

Se requiere asegurar que la tensión sea menor al 90% de resistencia a la tracción de rendimiento (a cada temperatura aplicable) figura 2.

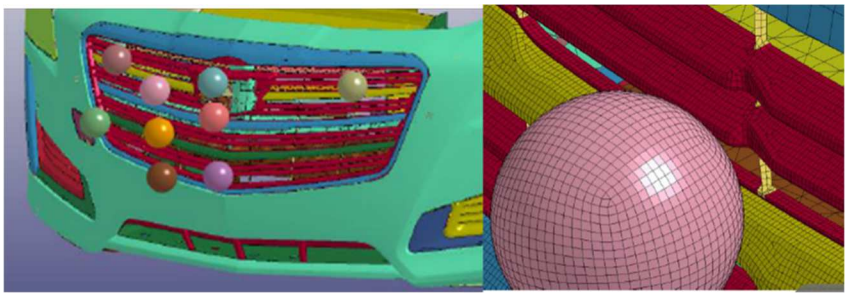

Figura 2. Resistencia al impacto, ingeniería asistida por computadora. (9)

2.2.7 ASTM D523

Método de prueba estándar para el brillo especular. El brillo está asociado con la capacidad de una superficie para reflejar más luz en direcciones cercanas a la especular que en otras. Este método de prueba cubre la medición del brillo especular de muestras no metálicas para geometrías de medidor de brillo de 60, 20 y 85° (10).

Especialmente para los plásticos, la cantidad de luz reflejada aumenta con el incremento del ángulo de iluminación. Ver figura 3.

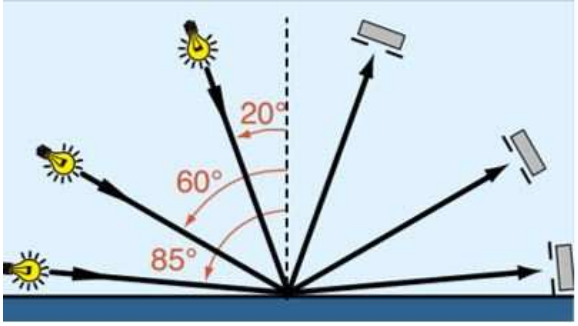

Figura 3. Medición de brillo. La luz reflejada aumenta con el incremento del ángulo de iluminación. (10)

De acuerdo con los estándares de General Motors las tres clasificaciones de brillo en parrillas son:

1) Poco brillo <10°
2) Semi-brillante 10 – 70°
3) Brillante > 70°

2.2.8 GMW15777

Requisitos de apariencia de pintura del exterior del vehículo y de las piezas adicionales.

Los requisitos se describen en términos de atributos de apariencia y manchas superficiales para cada zona en la que se encuentra un panel de la carrocería, una fascia o una parte adicional en un vehículo (15).

2.2.9 Índice de fluidez (MFI) por sus siglas en ingles

Es una prueba que mide cuántos gramos de un polímero fluyen a través de un dado capilar de prueba en un tiempo determinado de 10 minutos, manteniendo constate la presión y la temperatura (11).

La prueba se realiza a una temperatura determinada y puede variar según el plástico. Figura 4.

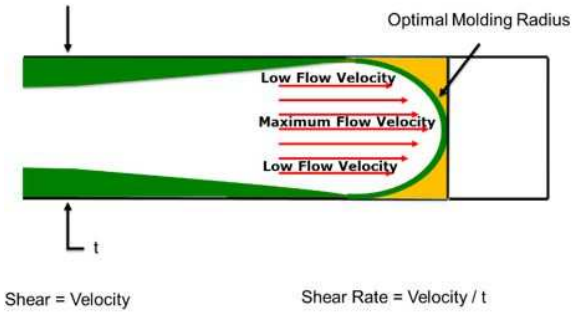

Figura 4. índice de flujo derretido. (11)

2.3 PROCESO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO

2.3.1 Moldeo por inyección

Para fascias y parrillas el proceso de manufactura como previamente se comentó es la inyección de plásticos, en donde se utiliza un molde de inyección para dar la forma deseada al material (11) (14).

Un molde de inyección está conformado principalmente por 3 placas de acero: la placa de sujeción, la cavidad y el corazón (11). Además, se introduce un nuevo

concepto manejado en General Motors: “Clase A” que hace referencia a la parte del componente que el cliente final puede observar, y clase B se entiende entonces por la que queda oculta de la vista del cliente (7). En el caso de los componentes exteriores típicamente la cavidad del molde contendrá el punto de inyección y la mayor superficie del componentes de la “clase A”, mientras el corazón el lado contrario (10) (11) ver figura 5.

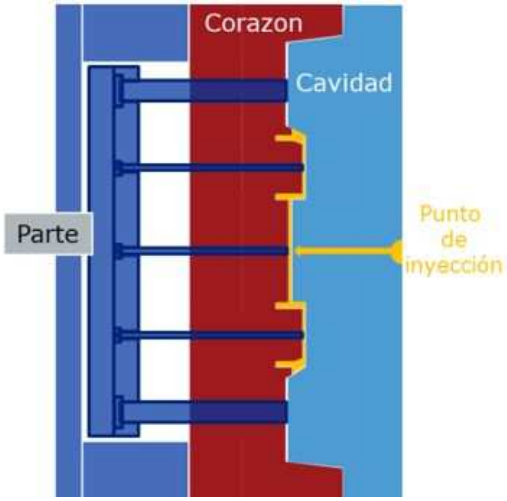

Figura 5. Molde de inyección. Componentes principales. (11)

Durante la inyección el material plástico fluye con un patrón circular llenando el molde figura 6.

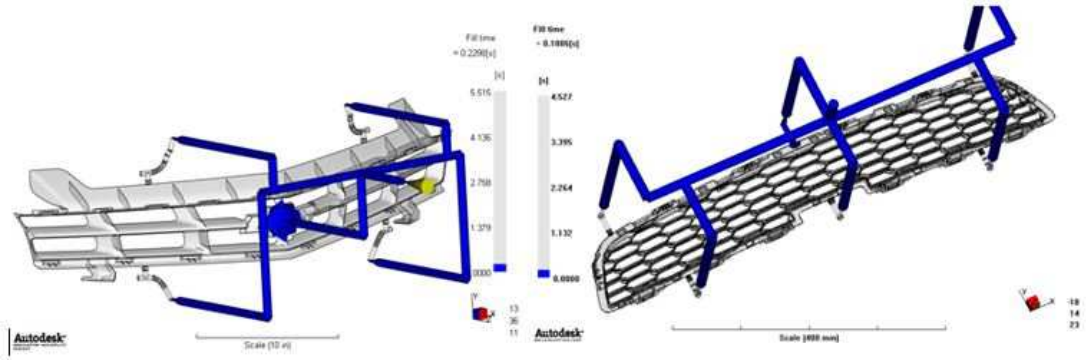

Figura 6. Flujo de material para inyección de la parrilla. (11)

En caso de tener un molde de dos cavidades la distribución sería como se ilustra en la figura 7.

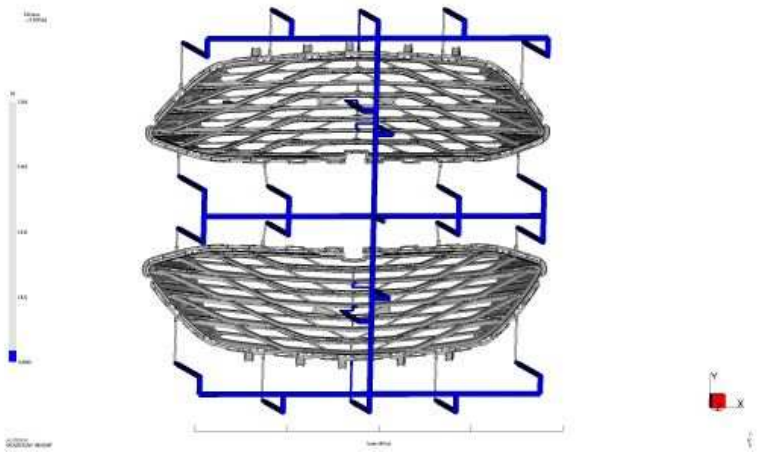

Figura 7 .Flujo de material para inyección de parrillas en molde de dos cavidades. (11)

Algunos factores que hay que considerar antes de inyectar la pieza son: (11) (16)

- Diseño de la distribución del flujo de material.
- Patrón de la parrilla.
- Dimensiones.
- Temperatura de flujo.
- Líneas de partición.
- Orientación de la parrilla.
- Deflexión.
- Ángulos de salida

2.3.2 Máquina de inyección

A continuación, se enlistan las partes principales de una máquina de moldeo por inyección (11). Figura 8.

- Tolva.
- Husillo.
- Motor.

- Boquilla.
- Calentadores.
- Moldes.

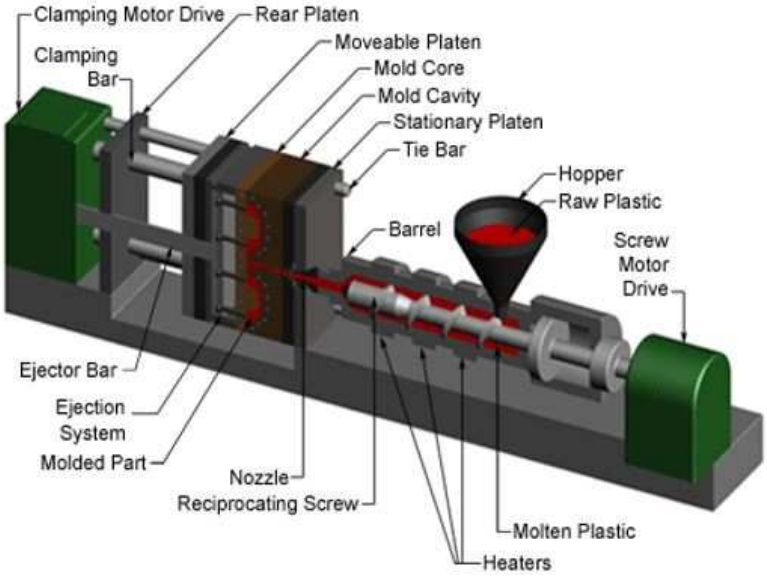

Figura 8. Flujo de material para inyección de parrillas en molde de dos cavidades. (11)

2.4 POLÍMEROS UTILIZADOS ACTUALMENTE EN GENERAL MOTORS PARA PARRILLAS EXTERIORES

De acuerdo con su comportamiento térmico los materiales poliméricos se clasifican en tres tipos: termoplásticos, termofijos y elastómeros (16) (17). Para la inyección de parrillas exteriores se utilizan los materiales termoplásticos. (11)

Hay dos morfologías para materiales termoplásticos en estado sólido: amorfos o semi-cristalinos (13). En la tabla 1, se enlistan las características de estos dos tipos de termoplásticos.

Tabla 1. Comparativa entre materiales amorfos y cristalinos (7) (11) (18) (19).

TERMOPLÁSTICOS	
Amorfos	**semi-cristalinos**
Estructura aleatoria	Estructura ordenada
Comúnmente son sensibles a los solventes	Resistentes a solventes
Baja resistencia a la fatiga / desgaste	Excelente resistencia a fatiga / desgaste
Baja contracción	Alta contracción
Mayor estabilidad dimensional	Menor estabilidad dimensional
Comúnmente se utiliza en piezas exteriores cromadas	Utilizado para piezas moldeadas en color y piezas pintadas.
Materiales comunes: ABS, ASA, policarbonato (PC), PC + ABS	Materiales comunes: TPO, polipropilenos, Acetilos, Nylons

Actualmente en General Motors a nivel global se tienen aprobados cuatro polímeros termoplásticos para su utilización en la fabricación de parrillas exteriores, estos materiales son: Poliolefina (TPO, por sus siglas en inglés), acrilato de estireno acrilato (ASA), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y Policarbonato (PC) (12).

Las parrillas exteriores son producidas a través del proceso de inyección, y la selección del material estará definida por varios factores: la complejidad del diseño, si se trata de una pieza moldeada en color, pintada o cromada y el presupuesto con el que se cuente para la investigación (11).

En la Figura 9 se presenta el árbol de decisión de material para el diseño de parrillas, este árbol de decisión está enfocado en la apariencia del componente, tomando en cuenta si se trata de un componente que no debe tener procesos estéticos adicionales después de la inyección (moldeado en color), o si se requiere que el componente sea pintado o cromado después de la inyección En el caso de las

parrillas moldeadas en color, el árbol da tres opciones dependiendo la cantidad de brillo "bajo, medio o alto" que se requiere para el componente.

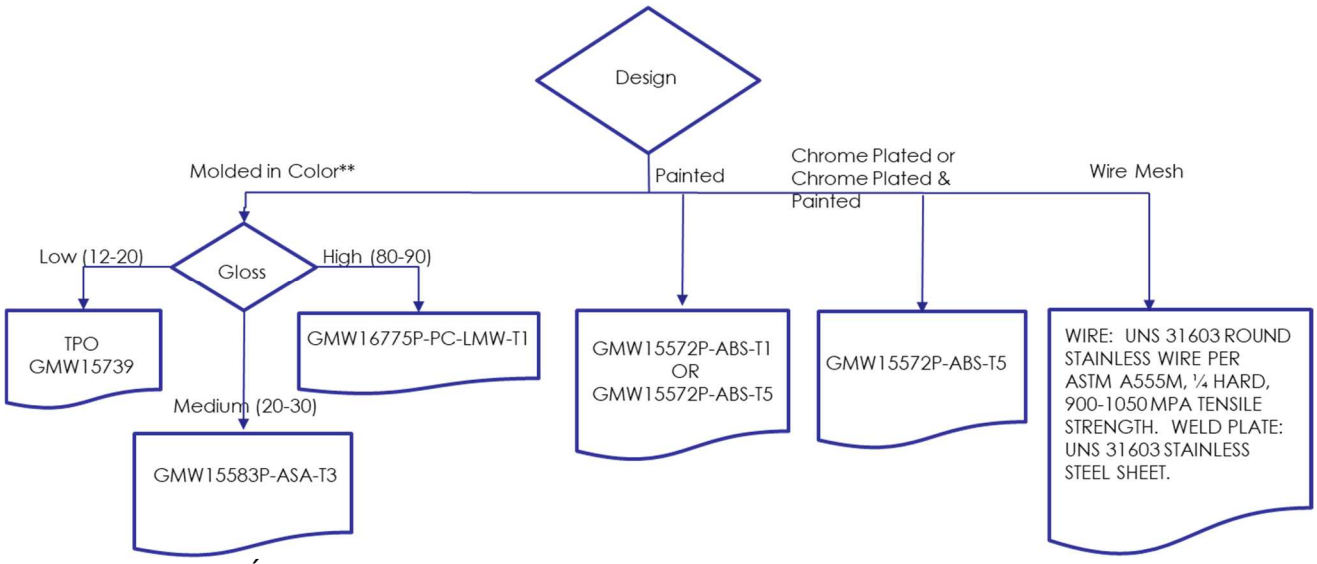

Figura 9. Árbol de decisión de material para el diseño de parrillas. **(12)**

2.4.1 Poliolefina termoplástica (TPO)

La poliolefina termoplástica (TPO) es producida de la mezcla de polipropileno (PP) con copolímeros elastoméricos de etileno (13). El TPO de acuerdo con la GMW15739 puede ser utilizado para parrillas moldeadas en color si el brillo requerido para la pieza es menor de ≤ 20° GU, y si el diseño del patrón de la parrilla no es complejo (12).

Algunas propiedades de este material son (9) (11) (20):

- 23 MFI (índice de fluidez)
- Densidad 0.96 g/cm^3
- Contracción aproximada: 0.6 - 0.8%
- Temperatura de fusión: 210 - 235 °C
- Sensible a cambios de espesor en el componente
- Sensible a las variaciones de calor
- Material semi-cristalino

2.4.2 Acrilonitrilo-estireno-acrilato (ASA)

El ASA de acuerdo con la GMW15583P puede ser utilizado para parrillas moldeadas en color si el brillo se encuentra en valores entre 20° y 30° GU (12).

Este material moderado en color es capaz de cumplir únicamente la clasificación 4 de exposición a la intemperie de acuerdo con los requerimientos de la GMW14650 para partes plásticas, sin embargo, para parrillas exteriores el requerimiento a cumplir es la clasificación 2 de acuerdo con los requerimientos de la GMW14650, por lo que la parrilla deberá tener un patrón graneado para lograr cumplir dichos requerimientos.

Algunas propiedades de este material son (9) (11) (20) (21):

- 13 MFI (índice de fluidez)
- Densidad 1.07 g/cm^3
- Contracción aproximada: 0.5 - 0.9 %
- Temperatura de fundición: 240 °C - 280 °C
- Sensible a tamaño del componente
- Sensible a guardar materiales en paredes delgadas
- Material amorfo

2.4.3 Policarbonato (PC)

De acuerdo con la GMW16775P este material puede ser utilizado para parrillas moldeadas en color si la pieza está sometida a menos de 0.5 % de tensión (20), este material es capaz de dar un brillo entre 80° y 90° GU (12).

Capaz de cumplir por si solo sin necesidad de tener un patrón graneado la clasificación 2 de exposición a la intemperie de acuerdo con los requerimientos de la GMW14650. Este material tiene una densidad de 1.2 g/ cm^3.

Algunas propiedades de este material son:

- 8 a 17 MFI (índice de fluidez)
- Densidad 1.2 g/cm^3
- Contracción aproximada: 0.5 - 0.7 %
- Temperatura de fundición: 280 °C - 310 °C
- Sensible a tamaño del componente
- Sensible a guardar materiales en paredes delgadas
- Material amorfo

Cabe mencionar que, para poder utilizar el policarbonato como material de inyección de parrillas, es necesario un análisis exhaustivo y la búsqueda de aprobaciones internas de GM, esto debido a que es el material más resiente en la lista de los materiales aprobados, por lo que es considerado la última tecnología.

2.4.4 Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)

El ABS de acuerdo con la GMW15572P puede ser utilizado únicamente en el diseño de parrillas que serán pintadas o cromadas después de la inyección (12).

Algunas propiedades de este material son (9) (11) (20):

- 20 MFI (índice de flujo)
- Densidad 0.96 g/cm^3
- Contracción aproximada: 0.4 - 0.6%
- Temperatura de fundición: 250 °C - 280 °C
- Sensible a morfología de la superficie (adherencia cromada)
- Material amorfo

De la información previamente proporcionada se realizó una tabla comparativa de las propiedades de los cuatro polímeros termoplásticos actualmente utilizados en General Motors para la inyección de parrillas exteriores, mostrando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, Tabla 2.

Tabla 2. Comparativa entre los cuatro polímeros termoplásticos utilizados en la inyección de parirlas exteriores (5) (18) (22) (21) (18) (23) (24) (25).

Material / Propiedad	TPO	ASA	ABS	PC
Morfología	Semi Cristalino	Amorfo	Amorfo	Amorfo
Índice de fluidez MFI g/10 min	23	13	20	8 - 17
Densidad g/ cm^3	0.96	1.07	0.96	1.2
Contracción	0.006 - 0.008	0.005 - 0.009	0.004 - 0.006	0.005 - 0.007
Brillo	≤20°	10° – 30°	Necesita un recubrimiento adicional	80° – 90°
Temperatura de fundición (°C)	210°-235°	240 °C - 280 °	250 ° - 280 °	280 ° - 310 °
Resistencia a la tensión MPa	≥17	≥35	≥ 30	≥35

2.5 PRUEBAS REQUERIDAS

Con el objetivo de obtener las especificaciones mecánicas y ópticas de cada material para la aplicación en parrillas exteriores, los materiales fueron sometidos a diferentes pruebas para comparar sus propiedades:

- Prueba de brillo
- Prueba de impacto
- Prueba de tensión

2.5.1 Características de la prueba de brillo

El brillo está asociado con la capacidad de una superficie para reflejar más luz en algunas direcciones que en otras. Las direcciones asociadas con la reflexión de espejo (o especular) normalmente tienen las reflectancias más altas.

La medición del brillo se realiza al dirigir un "haz de luz" de intensidad constante, con un ángulo fijo, sobre la superficie y posteriormente controlando la cantidad de luz reflejada del mismo ángulo. Esta reflectancia especular se mide mediante un brillómetro" (26) figura 10.

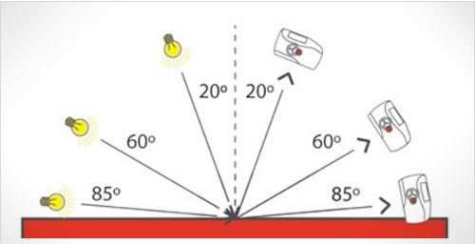

Figura 10. Brillo especular ASTM D523 (27)

2.5.2 Características de la prueba de impacto

El propósito de esta prueba es determinar la resistencia al impacto de los materiales plásticos que han sido seleccionados para este estudio, bajo condiciones específicas (28).

Esta prueba deberá aplicarse a componentes plásticos que estén expuestos a impactos externos, de acuerdo con la GMW14093 utilizando los siguientes tres tipos de pruebas:

a) Prueba de caída. Una masa especificada cae desde una altura predeterminada para producir la energía de impacto especificada en caída libre sobre la pieza de prueba como se observa en la figura 11.

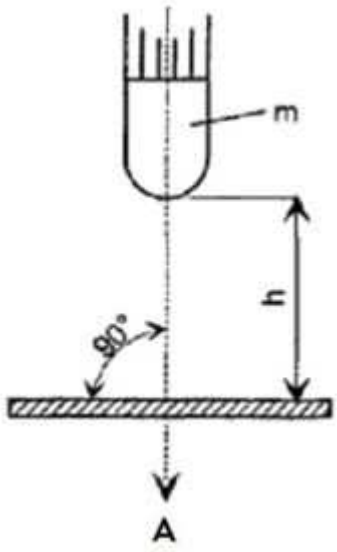

Figura 11. Prueba de caída (28)

b) Prueba de péndulo suspendido en un péndulo de longitud especificada, cae desde una altura predeterminada para producir la energía de impacto especificada en la pieza de prueba. Figura 12

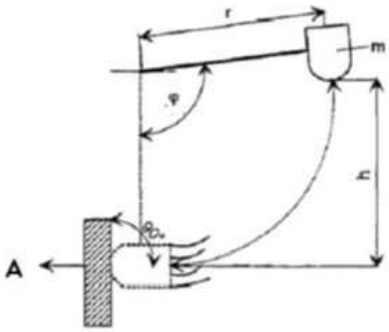

Figura 12. Prueba de péndulo (28)

c) Bola de acero: Una bola de acero que cae desde una altura predeterminada para producir la energía de impacto especificada en caída libre sobre la pieza de prueba. Figura 13.

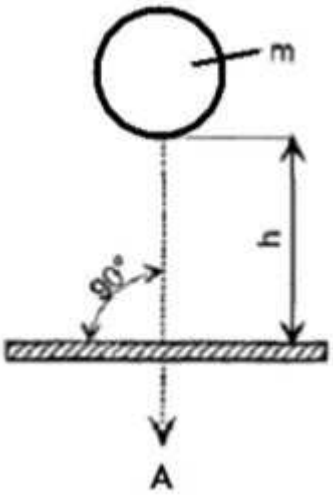

Figura 13. Bola de acero (28)

2.5.3 Características de la prueba de tensión

El propósito de este procedimiento es determinar (29):

1. Fuerza de ruptura.
2. Fuerza máxima, resistencia a la tracción.
3. Alargamiento del material con respecto a fuerzas especificadas.

La prueba consiste en aplicar una carga de tracción a la muestra, con una velocidad constante utilizando un extensómetro hasta la ruptura de la muestra Figura 14. Se registran las fuerzas y alargamiento (29).

Figura 14. Prueba de tensión (30)

Se requiere una máquina universal de ensayos con la que es posible someter las probetas a ensayos de compresión, flexión y tracción, para medir y comprobar la resistencia de los materiales.

2.6 PROBLEMÁTICA ACTUAL

A pesar de contar con cuatro polímeros que cumplen con las especificaciones de General Motors, ninguno de ellos es capaz de adaptarse a todas las necesidades. El actual requerimiento de resistencia a los impactos de agentes externos (rocas, arena, etc.) en la parrilla y, el tener y conservar un brillo mayor o igual a los 80° GU en las mismas, lo anterior aunado a la necesidad de evitar procesos adicionales después de la inyección (pintura, cromado, graneado, etc.) obliga a buscar alternativas de materiales que ayuden a sustentar todas estas necesidades (31).

Las configuraciones actuales con estos materiales permiten alto brillo sacrificando la resistencia al impacto, o una buena resistencia al impacto con la necesidad de agregar un recubrimiento adicional para cubrir los requerimientos estéticos y alcanzar el brillo requerido (32) (33).

Con el apoyo de algunos programas internos de GM se ha iniciado el desarrollo de las parrillas utilizando como material de inyección el PC para cubrir los requerimientos de brillo; sin embargo, cuando es sometido a condiciones de desgaste, impacto, arena y ralladuras , este material no cumple con las especificaciones que requiere cada prueba mencionada y se ha tomado la opción de cambiar de material, lo que implica un retraso en los tiempos de producción y una inversión adicional (14) (34) (35) (36).

A continuación, se mencionan las problemáticas que cada polímero enfrenta al ser utilizado en la inyección de parrillas.

2.6.1 Problemáticas de la Poliolefina Termoplástica (TPO)

Este material presenta un brillo menor o igual a los 20° GU por lo que no cubre los requisitos de apariencia para una parrilla plástica.

2.6.2 Problemáticas del Acrilonitrilo-Estireno-Acrilato (ASA)

A pesar de dar muy buenos resultados en las pruebas de durabilidad, su brillo oscila entre los 20° y los 30° GU (25). Requiriendo adicionalmente de un "graneado" superficial para resaltar el brillo en las áreas requeridas. El Uso de este material tendrá que ser aprobado por el BFO (BOM Family Owner por sus siglas en ingles), debido a que granear un componente plástico implica la alteración del molde de inyección proceso que lleva de 8 a 10 semanas adicionales al proceso, no obstante, aun graneando la parrilla no alcanza los 80° GU de brillo estipulados (20).

2.6.3 Problemáticas del Policarbonato (PC)

Este material comenzó a ser usado en los últimos 3 años para cumplir el requerimiento de 80° GU de brillo, ya que el material sin necesidad de un proceso adicional cumple este requerimiento; sin embargo, este termoplástico ha presentado un desgaste

temprano que conlleva a problemas de garantías por insatisfacción del cliente (20) (35) (36) (37).

2.6.4 Problemáticas del AcrilonitriloButadieno-Estireno (ABS)

Actualmente ninguna parrilla exterior se moldea en color con este material, si se aprueba su uso tendrá que ser sometido a un proceso de pintura adicional después de la inyección (34).

3. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN

Dada la complejidad que implica la autorización de nuevos materiales en la empresa, se definió como propuesta para parrillas exteriores plásticas utilizar materiales que actualmente se usan en componentes de apariencia en otras secciones del vehículo y que ya se encuentran aprobados en la empresa, en este caso se tomó en consideración el área de paneles interiores por la similitud que presenta en el desarrollo de diseño de los componentes con las parrillas exteriores y que se trata también de componentes cuya apariencia juega fundamental importancia. Se realizó una comparativa entre los tres materiales utilizados parrillas exteriores (solo se tomaron en cuenta los materiales que son moldeados en color) Tabla 3 y tres materiales del área de paneles de puertas.

La propuesta de los materiales se obtuvo del árbol de decisión de la empresa para paneles interiores "clase A" (es decir superficies que tienen interacción directa con el cliente), estos materiales fueron seleccionados por acuerdo con el área comercial y productiva de la empresa. Tabla 4.

Tabla 3. Materiales Actualmente utilizados en la inyección de parrillas exteriores (12) (14) (15).

Properties	Norma	Unidades	PC	TPO	ASA
Densidad	ISO 1183, Método A, ≥10 x ≥10 x 4mm	g/cm^3	1.22	1.152	1.07
Temperatura de fundición MFR (220°C/10Kg)	ISO 1133, temperature and load defined in specifcations	g/10 minuto	8 - 12	14	15
Módulo de flexión @ +22°C	ISO 178, Piezas de 80x10x4mm, 2 mm/minute, 64 mm span, chord (0.05 -- 0.25% strain)	MPa	2373	2418	-
Módulo de tensión	ISO 527-1/2, Piezas ISO 3167, 4 mm barra tipo A bar, Velocidad de prueba 1 mm / minuto;	MPa	2485	2059	2300
Resistencia a la tension	ISO 527-1/2, Pieza ISO 3167, 4 mm barra tipo A bar, velocidad de prueba 50 mm/minuto	MPa	65	18.4	GMW≥ 35
Resistencia al impacto (22°C en péndulo Charpy)	ISO 179/ 1eA, Muesca maquinada "V" r = 0.25 mm, 80 X 10 X 4 mm	kJ/m^2	21	36.8	17
Resistencia al impacto (-30°C en péndulo Charpy)	ISO 179/ 1eA, Muesca maquinada "V" r = 0.25 mm, 80 X 10 X 4 mm	kJ/m^2	16	2.6	4

Tabla 4. Materiales propuestos utilizados en la inyección de parrillas exteriores (38) (39) (40)

Properties	Standard	Units	PP + 20 % GF	ABS + PC	TPO + 25% GF
Densidad (g/cm^3)	ISO 1183, Método A, ≥10 x ≥10 x 4mm	g/cm^3	1.03	1.10	1.07
Temperatura de fundición MFR (220°C/10Kg)	ISO 1133, temperature and load defined in specifcations	g/10 minuto	-	10.5 - 18.5	8
Módulo de flexión @ +22°C	ISO 178, Piezas de 80x10x4mm, 2 mm/minute, 64 mm span, chord (0.05 -- 0.25% strain)	MPa	4900	2041	2600
Módulo de tensión	ISO 527-1/2, Piezas ISO 3167, 4 mm barra tipo A bar, Velocidad de prueba 1 mm / minuto;	MPa	5000	2177	-
Tensile Stress at Yield Resistencia a la tension	ISO 527-1/2, Pieza ISO 3167, 4 mm barra tipo A bar, velocidad de prueba 50 mm/minuto	MPa	-	48 GMW≥40	-
Resistencia al impacto (22°C en péndulo Charpy)	ISO 179/ 1eA, Muesca maquinada "V" r = 0.25 mm, 80 X 10 X 4 mm	kJ/m^2	14	54 GMW≥20	-
Resistencia al impacto (-30°C en péndulo Charpy)	ISO 179/ 1eA, Muesca maquinada "V" r = 0.25 mm, 80 X 10 X 4 mm	kJ/m^2	15	33 GMW≥10	-

3.1 METODOLOGÍAS DEL PROYECTO

Para el desarrollo de la metodología se eligieron 3 materiales del árbol de decisión actual de parrillas y se propusieron 3 materiales que son actualmente utilizados en la inyección de componentes estéticos, específicamente en paneles interiores de puertas. En la Figura 15 se muestra el diagrama de la secuencia seguida para el desarrollo de la metodología.

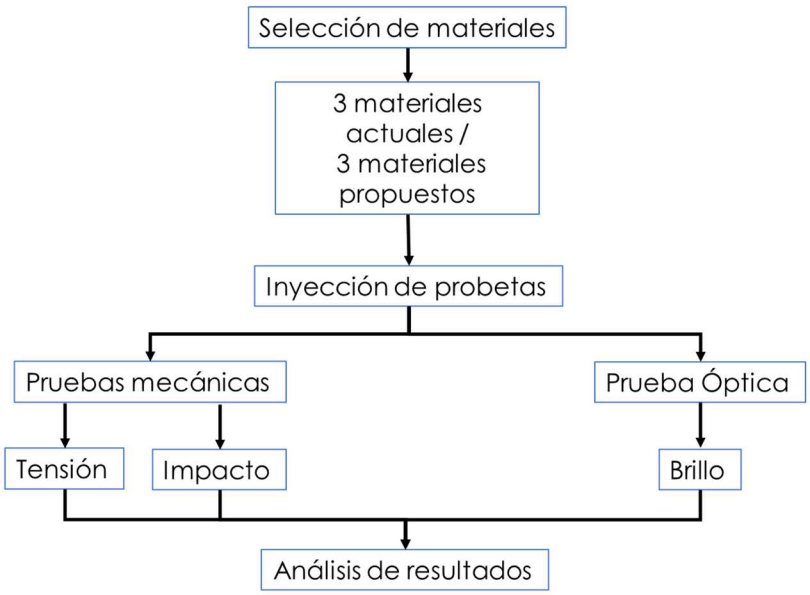

Figura 15. Metodologías del proyecto.

Fuente: elaboración propia.

3.2 PRUEBAS FÍSICAS

Para la evaluación de las propiedades mecánicas y ópticas de los materiales de referencia y los propuestos, se realizaron 3 pruebas físicas: Tensión, Brillo e Impacto.

Para la realización de las pruebas se realizó la inyección de especímenes de prueba, las probetas fueron obtenidas mediante la inyección de cada uno de los materiales

utilizando una máquina de inyección, marca Sumitomo DEMAG, modelo Syste 100-430, con una fuerza de cierre de 100 toneladas.

3.2.1 Prueba de Brillo

Dada la importancia que la apariencia de las parrillas exteriores representa, y que la búsqueda del presente trabajo es ofrecer un material que pueda ser moldeado en color y ofrecer un brillo mayor o igual a 80 GU, se prepararon probetas de cada uno de los 6 materiales y fueron sometidos a una prueba de brillo, figura 16. Para la prueba se utilizó un brillómetro Micro-TRI-Gloss , modelo Micro-Gloss , marca Quality Instruments , para geometrías: 20°, 60° y 85°, bajo la norma: ASTM D523-14. Utilizando probetas de dimensiones 62 x 62 mm según lo indica la norma (5 probetas por prueba).

Figura 16. Muestra de probetas para pruebas de brillo.
Fuente: elaboración propia

3.2.2 Prueba de Impacto

La prueba de impacto multiaxial consiste en dejar caer una masa desde una altura predeterminada para producir la energía de impacto especificada en caída libre sobre la pieza de prueba. Para la prueba se inyectaron especímenes de prueba (probetas) de cada material Figura 17.

Figura 17. Muestra de probetas para pruebas de impacto

Fuente: elaboración propia

Para la prueba de impacto se utilizó una máquina de Impacto por Caída Libre (Impacto Multiaxial), marca: Zwick/Roell, peso máximo de dardo de 23 kg con una fuerza máxima de 15 kN, a velocidad 4.4 m/s figura 18. Utilizando probetas de dimensiones de 62 x 62 mm con un espesor de 2.04 mm según lo indica la norma ISO 294-1.

Figura 18. Zwick/ Roell HIT230F (41)

3.2.3 Pruebas de tensión

Para la prueba de tensión se utilizó una máquina Universal de Ensayos, marca: Zwick / Roell con una celda de carga de 30 kN de cierre, modelo: Z030, Figura 19; utilizando probetas de 170 mm de largo y 10.2 x 4.2 mm de sección transversal según lo indica la norma ISO 294-1.

Figura 19. Zwick/ Roell z030 (42)

Para esta prueba se prepararon probetas de cada material, analizando 5 probetas por cada material. Figura 20.

Figura 20. Muestra de probetas para pruebas de tensión.

Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 PRUEBA DE BRILLO

En la Tabla 5 se reportan los resultados promedio de brillo obtenidos para los seis materiales estudiados a 20°, 60° y 80° GU, las pruebas se hicieron siguiendo el método ASTM D523-14 (método de prueba estándar para brillo especular).

Tabla 5. Resultados promedio y desviación estándar prueba de brillo especular

	20° (GU)		**60° (GU)**		**85° (GU)**	
Material	**Promedio**	**Desviación estándar, σ**	**Promedio**	**Desviación estándar, σ**	**Promedio**	**Desviación estándar, σ**
TPO	29.8	1.14	62.0	1.92	89.8	1.13
ASA	56.2	2.93	82.9	0.31	96.8	0.17
PC	74.0	1.13	95.4	1.26	97.0	0.70
ABS+PC	59.9	1.69	86.6	1.38	94.8	1.01
TPO + 25% GF	35.4	1.69	69.9	1.47	95.6	0.46
PP + 20% GF	35.0	1.39	68.6	2.47	91.5	1.86

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de brillo (Tabla 5) muestran que de los materiales que actualmente son utilizados en el proceso de inyección de parrillas exteriores (TPO, ASA y PC), el que mejores propiedades de brillo presentó es el PC. Mientras que de los tres materiales propuestos (ABS + PC, TPO + 25% GF y PP + 20% GF) el que mejor resultados de brilló dio fue el ABS + PC. Particularmente a 85° la diferencia en brillo entre estos dos materiales es solo de 2 GU (unidades de brillo). De hecho, el material ASA presenta valores de brillo muy similares al ABA + PC a 20°, 60° y 85°. Mientras que en el caso del TPO + 25% GF y el PP + 20% GF los valores de brillo están muy por debajo de aquellos del PC y ASA, pero resultan ser mejores que los del TPO.

4.2 PRUEBA DE IMPACTO POR CAÍDA LIBRE

Se realizaron pruebas de impacto por caída libre a todos los materiales, siguiendo las normas ISO 6603-2, obteniendo de ellas un diagrama fuerza – recorrido.

En las Figuras 13 a 18 se muestran los resultados de impacto por caída libre para los seis materiales analizados. Los ensayos se realizaron a una velocidad de 4.4 m/s.

Los resultados de impacto para la muestra de TPO mostrados en la Figura 21, indican que es un material muy frágil y que se rompe con mucha facilidad, presentando una fuerza máxima a la ruptura de 2.14 kN y una deformación a fuerza máxima de 7.8 mm.

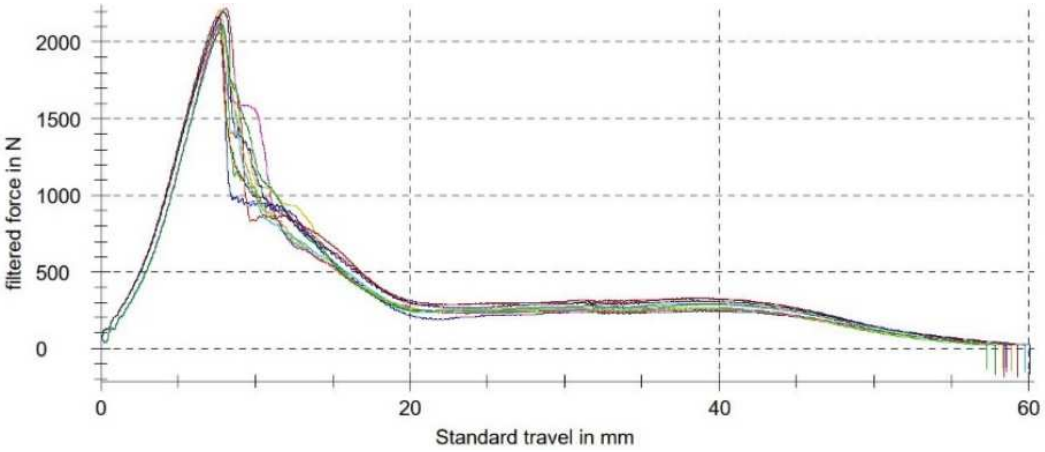

Figura 21. Gráfica fuerza – recorrido para TPO.
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el análisis de la muestra ASA, se observa un comportamiento que corresponde también a un material frágil que se rompe con facilidad a una fuerza máxima a la ruptura de 2.53 kN y una deformación a fuerza máxima de 7.2 mm. En la Figura 22 se muestra el comportamiento de fuerza – recorrido del material.

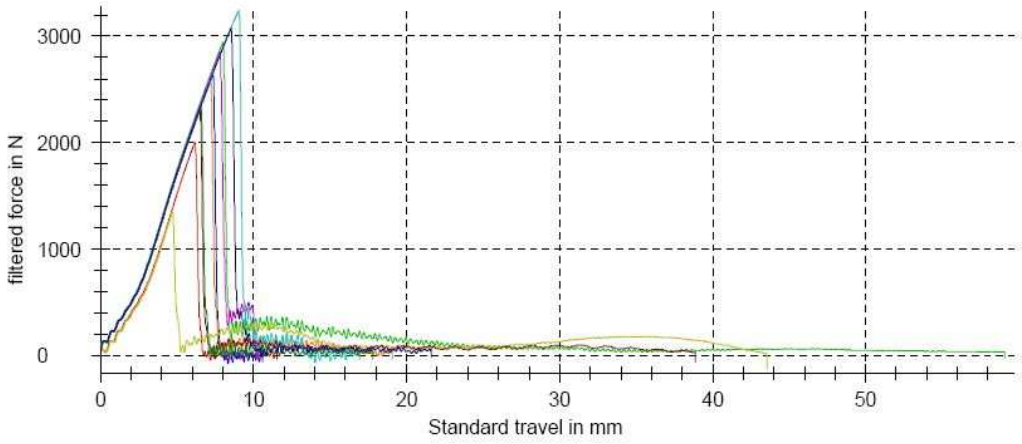

Figura 22. Gráfica fuerza – recorrido para ASA.
Fuente: elaboración propia.

Mientras que el PC es el material que presenta la mejor resistencia al impacto requiriendo una fuerza máxima a la ruptura de 7.1 kN y una deformación a fuerza máxima de 17.64 mm y energías del orden de 85 J para fracturarse. En la Figura 23 se muestra el comportamiento de fuerza – recorrido del material sometido a la prueba.

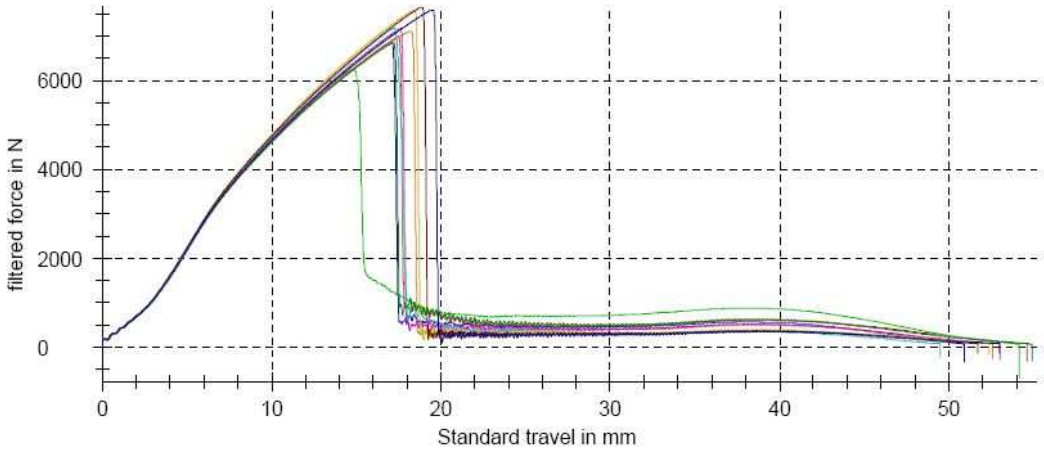

Figura 23. Gráfica fuerza – recorrido para PC.
Fuente: elaboración propia.

Los resultados para la muestra de (ABS+PC) mostrados en la Figura 24, indican que es un material con una buena resistencia al impacto, requiriendo una fuerza máxima a

la ruptura de 4.8kN, una deformación a fuerza máxima de 14.7mm y energías en el orden de 66.95 J para lograr facturarse.

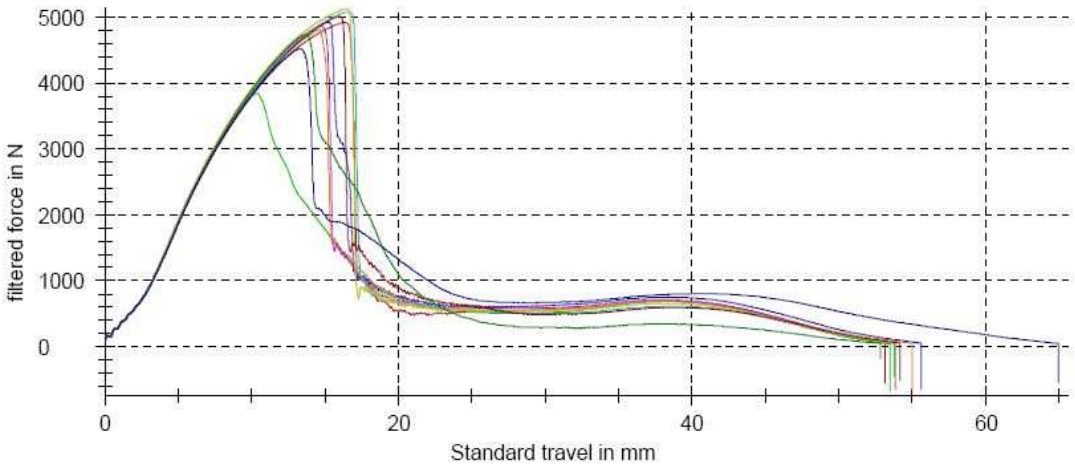

Figura 24. Gráfica fuerza – recorrido para ABS+PC.
Fuente: elaboración propia.

Los resultados de esta prueba para la muestra de (TPO + 25% GF), indican que es un material frágil, que se rompe con facilidad, requiriendo una fuerza máxima de ruptura de 2.4 kN y presentando un desplazamiento de 14.8 mm requiriendo energías de 34.51 J para fracturarse. En la Figura 25 se muestra el comportamiento de fuerza – recorrido del material sometido a la prueba.

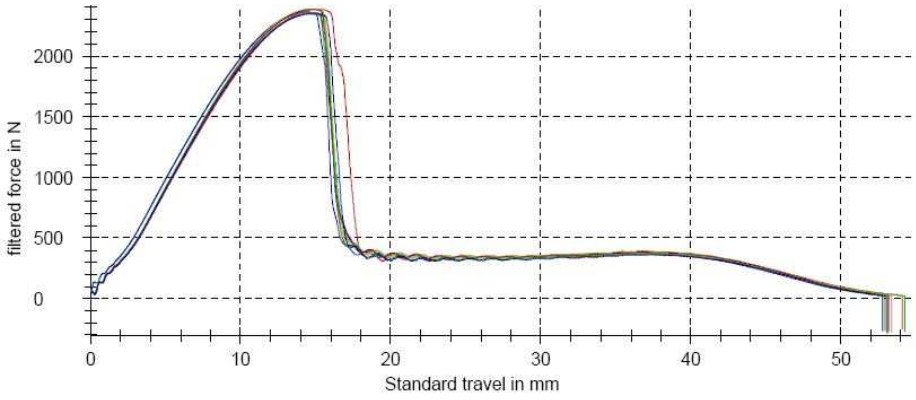

Figura 25. Gráfica fuerza – recorrido para TPO + 25% GF.
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el análisis de la muestra de (PP + 20% GF) se observa un comportamiento correspondiente a un material demasiado frágil en comparación con los otros materiales evaluados, que se rompe con mucha facilidad, requiriendo una fuerza máxima de ruptura de tan solo 0.872 kN presentando un desplazamiento de 5.4 mm requiriendo una energía final de 5.45 J para su ruptura. En la Figura 26 se muestra el comportamiento de fuerza – recorrido del material sometido a la prueba.

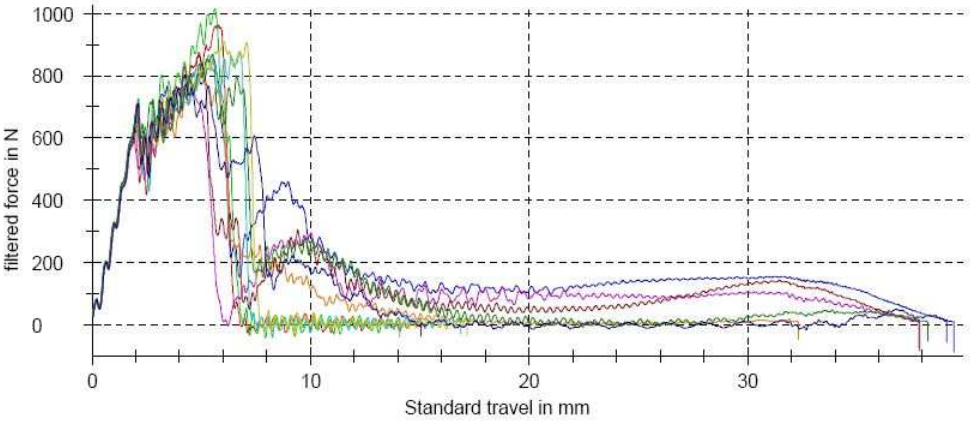

Figura 26. Gráfica fuerza – recorrido para PP + 20% GF.
Fuente: elaboración propia.

Los resultados de impacto multiaxial indican que, de los materiales actualmente utilizados, el material que mejor comportamiento presentó es el PC. Mientras que, de los tres materiales propuestos, el que mostro mejor comportamiento fue el material compuesto de ABS + PC.

La diferencia en la energía requerida para alcanzar la fractura, entre el PC y el material compuesto de ABS+PC, es únicamente de 18.06J. Si bien el ABS + PC es más frágil que el PC sólo, los resultados también muestran que es mucho más resistente que los otros dos materiales que son actualmente utilizados (TPO y ASA) y los propuestos TPO + 25% GF y PP + 20% GF siendo este último un material extremadamente frágil.

4.3 PRUEBA DE TENSIÓN

Los resultados de las pruebas de tensión son reportados en las Figuras 27 a 32 Se realizaron pruebas de tensión a los 3 materiales actuales y los 3 materiales propuestos, obteniendo de ellos las curvas de esfuerzo-deformación respectivas para cada material.

Los resultados de esta prueba para la muestra TPO, indican un material con un módulo elástico de 2630 MPA y un esfuerzo máximo de deformación de 37.5 MPA. En la Figura 27 se puede observar la curva esfuerzo – deformación que es propia de un material duro y tenaz.

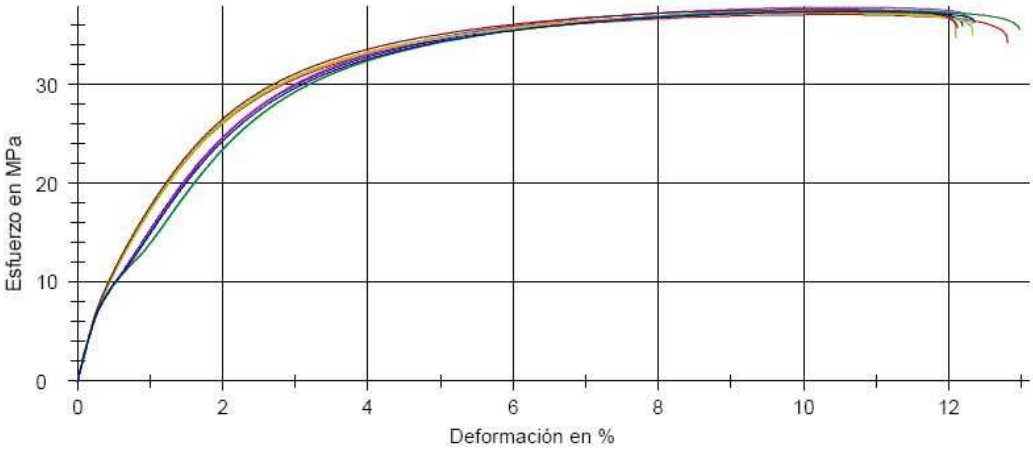

Figura 27. Gráfica esfuerzo-deformación de TPO.
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el análisis de la muestra ASA, se observa un módulo elástico de 2440 MPA y un esfuerzo máximo de deformación de 46.3 MPA, como se muestra en la Figura 28, la curva esfuerzo deformación corresponde a un material de tipo duro y resistente.

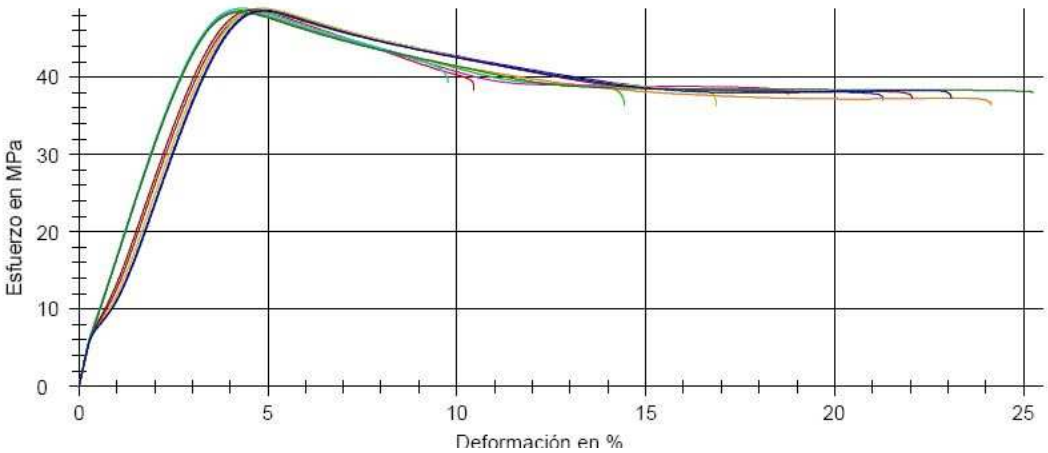

Figura 28. Gráfica esfuerzo-deformación de ASA.
Fuente: elaboración propia.

El análisis del material PC, muestra un módulo elástico de 2590 MPA y un esfuerzo máximo de deformación de 62.2 MPA, cuya curva esfuerzo deformación mostrada en la Figura 29 corresponde a un material duro y resistente.

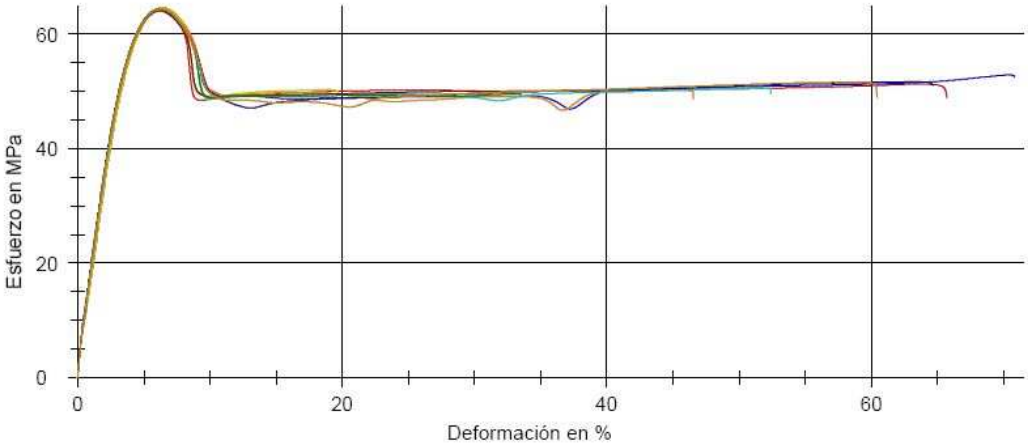

Figura 29. Gráfica esfuerzo-deformación de PC.
Fuente: elaboración propia.

Los resultados de esta prueba para la muestra ABS + PC, indican que se trata de un material con un módulo elástico de 2210 MPA y un esfuerzo máximo de deformación de 48.6 MPA, la curva esfuerzo deformación mostrada en la Figura 30 corresponde a un material duro y tenaz.

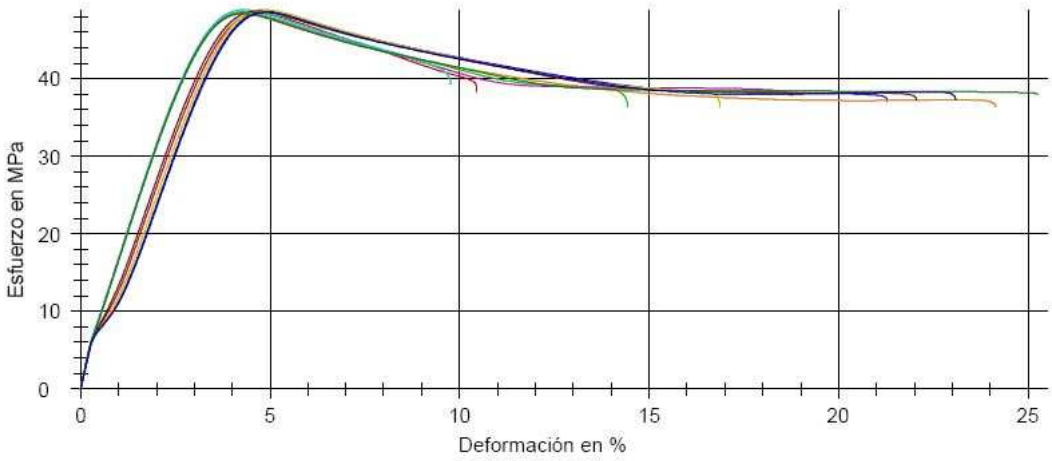

Figura 30. Gráfica esfuerzo-deformación de ABS + PC.
Fuente: elaboración propia.

En la Figura 31 se muestra el comportamiento de esfuerzo – deformación del material TPO con 25% GF sometido a la prueba de tensión obteniéndose un módulo elástico de 2140 MPA y un esfuerzo máximo de deformación de 21 MPA, la curva mostrada corresponde a un material blando y tenaz.

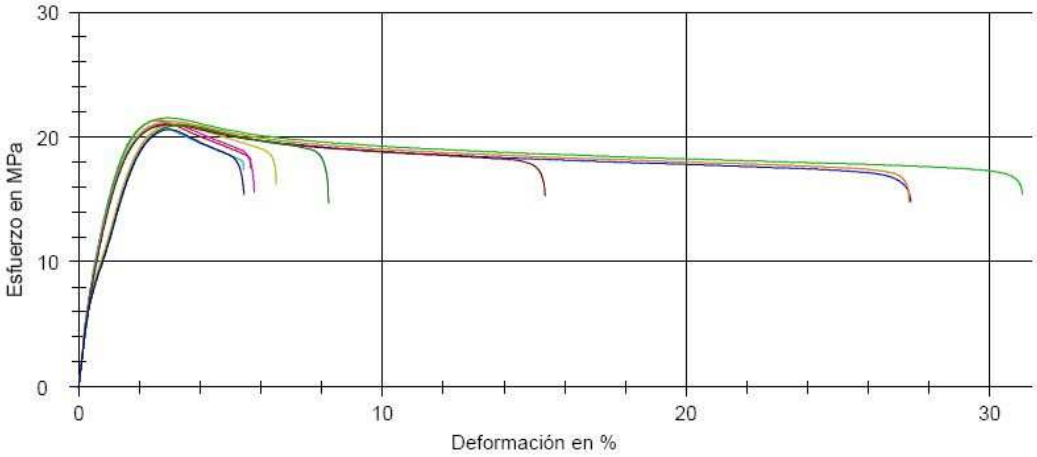

Figura 31. Gráfica esfuerzo-deformación del TPO + 25% GF.
Fuente: elaboración propia.

Finalmente, el análisis del material PP + 20% GF, muestra un módulo elástico de 4500 MPA y un esfuerzo máximo de deformación de 76.7 MPA cuya curva esfuerzo – deformación mostrada en la Figura 32 es propia de un material duro y frágil.

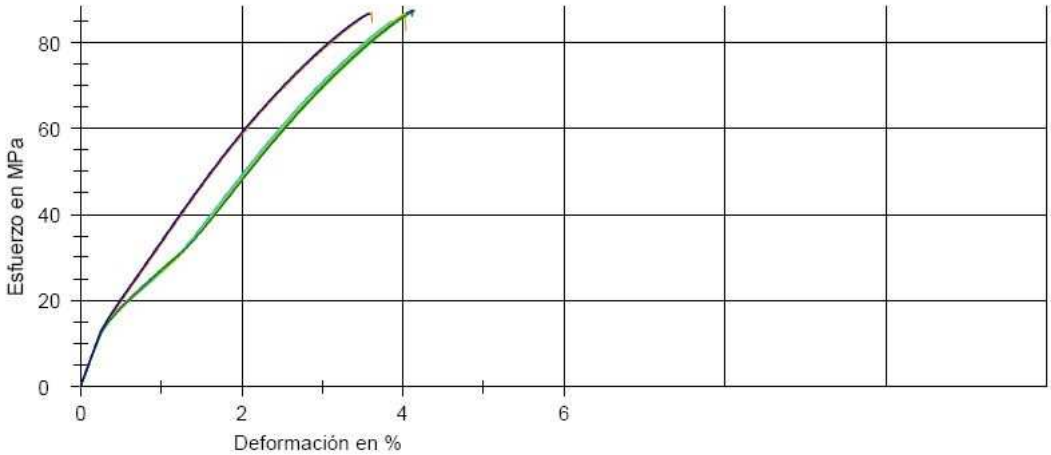

Figura 32 . Gráfica esfuerzo-deformación del PP + 20% GF.
Fuente: elaboración propia.

Los resultados de tensión indican que de los materiales actualmente utilizados (TPO, ASA y PC), el material más dúctil es el ASA con un módulo elástico de 2440 MPA. Mientras que el TPO resultó ser el más rígido con 2630 MPA. De los tres materiales propuestos (ABS + PC, TPO + 25% GF y PP + 20% GF) el que mostró mayor ductilidad fue el TPO + 25% GF con un módulo de Young de 2140 MPA mientras que el PP + 20% GF mostró mayor rigidez con un alto módulo de Young en el orden de 4500 MPA.

4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 6 se muestra un resumen de los resultados de las pruebas realizadas a todos los materiales, indicando de la prueba de impacto los resultados de la energía media y la energía final, de las pruebas de tracción se obtuvo el módulo elástico y el esfuerzo de deformación máximo.

Tabla 6. Resultados promedio pruebas de impacto, tracción y brillo.

	TPO	ASA	PC	ABS + PC	TPO + 25% GF	PP + 20% GF
Energía Media en prueba de impacto (J)	7.43	8.55	68.59	40.05	20	3.02
Desviación estándar Energía Media en prueba de impacto	0.55	3.42	4.06	2.45	0.29	0.64
Energía Final en prueba de impacto (J)	24.63	10.7	85.01	66.95	34.51	5.45
Desviación estándar Energía Final en prueba de impacto	1.52	3.51	2.64	2.98	0.66	1.50
Módulo Elástico (MPA)	2630	2440	2590	2210	2140	4500
Desviación estándar Modulo elástico	22.3	15.49	20.66	19.69	38.76	300
Esfuerzo de deformación al Máximo (MPA)	37.5	46.3	62.2	48.6	21	76.7
Desviación estándar Esfuerzo de deformación al máximo	0.22	0.23	3.13		0.263	21.12
Brillo promedio a 20ª	29.8	56.2	74	59.9	35.4	35
Desviación estándar brillo 20ª	1.14	2.93	1.13	1.69	1.69	1.39
Brillo promedio a 60ª	62	82.9	95.4	86.6	69.9	68.6
Desviación estándar brillo 60ª	1.92	0.31	1.26	1.38	1.47	2.47
Brillo promedio a 85ª	89.8	96.8	97	94.8	95.6	91.5
Desviación estándar brillo 85ª	1.13	0.17	0.70	1.01	0.46	1.86

Fuente: elaboración propia.

De los resultados obtenidos se observa que de los tres materiales actualmente utilizados en la inyección de parrillas (TPO, ASA y PC), el PC es el que mostró mejores resultados en la prueba de brillo, mientras que el TPO es el que arrojo los resultados más bajos de la prueba, de los tres materiales propuestos, el ABS + PC fue el que tuvo mejores resultados en brillo, por lo que representa una alternativa viable para cubrir esta característica, cabe destacar que el PP +20% GF es el material que muestra los resultados más bajos de los tres materiales propuestos, sin embargo tiene mejor capacidad de brillo que el TPO.

En cuanto a la resistencia al impacto, de los materiales actuales el PC fue también el que mostró mejor comportamiento, requiriendo energías del orden de los 85 J para fracturarse, seguido por el ABS + PC, el cual mostró también una muy buena resistencia al impacto, soportando energías del orden de 66 J antes de fracturarse. También se observó que el PP + 20% GF resulta ser un material muy frágil, soportando únicamente 5.45 J antes de fracturarse.

En cuanto a los resultados de la tensión, de los materiales actuales, el que mostró el mejor comportamiento fue el TPO, arrojando una gráfica esfuerzo-deformación propia de un material duro y tenaz, resistiendo un esfuerzo máximo a la deformación de 37.5 MPA , por otro lado de los materiales propuestos, el que presenta un comportamiento adecuado a las necesidades de GM es el ABS+ PC que presentó una curva esfuerzo- deformación correspondiente a un material duro y tenaz , resistiendo un esfuerzo máximo a la deformación de 48.6 MPA.

CONCLUSIONES

Se concluye después del análisis de resultados, que el mejor material para la inyección de parrillas continúa siendo el PC, que es un material ya actualmente utilizado, con un buen balance entre capacidad de brillo, resistencia al impacto y a la tensión, una alternativa sería el ABS + PC, sin embargo, este material presenta propiedades ligeramente menores en comparación con el PC tanto en tensión, brillo e impacto.

Los materiales ASA, TPO y TPO + 25% GF, si bien mostraron propiedades interesantes, están fuera de las especificaciones que demanda la calidad del producto, dando resultados de brillo bajos comparados con el PC y el ABS + PC.

El material con el comportamiento menos apropiado para la aplicación en parrillas exteriores automotrices, resulto ser el PP + 20% GF, con propiedades mecánicas y de brillo no adecuadas.

APORTACIÓN DE LA TESIS

Gracias a la realización de este trabajo se validó, que el uso del PC para la inyección de parrillas exteriores automotrices es adecuado, cumpliendo adecuadamente con los requerimientos estéticos que la empresa y los clientes demandan, además de ofrecer excelentes resultados de brillo, y al mismo tiempo cumpliendo los requerimientos de impacto y tracción planteados que demanda la empresa como estándares de calidad. Otra de las aportaciones de este trabajo es el haber logrado identificar una nueva alternativa de material (ABS + PC) para la inyección de parrillas, este material cubre de manera eficiente los aspectos estéticos y mecánicos requeridos por la empresa. También durante el desarrollo de este trabajo se identificaron materiales, que por su comportamiento estético y mecánico no son aptos para su utilización en esta aplicación, como lo son el TPO+ 25% GF y el PP + 20% GF. Con esta investigación fue posible demostrar, que la búsqueda de alternativas de materiales para partes plásticas como lo son las parrillas automotrices, no requiere necesariamente atravesar las fronteras de la empresa, y que es posible encontrar materiales alternativos dentro del catálogo actual de la empresa, realizando estudios internos con materiales utilizados y autorizados en otras áreas de la empresa, como lo son los paneles puertas, el panel de control de instrumentos entre otros, esto con la ventaja de que son materiales ya autorizados por lo que su proceso de aprobación interna se simplifica considerablemente.

APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS

La búsqueda y análisis de materiales alternativos, para la inyección de componentes, amplia los panoramas empresariales, promoviendo la mejora continua, enfocando siempre los esfuerzos en satisfacer a nuestros clientes, ofreciéndoles componentes vehiculares atractivos, seguros y confiables. El poder ofrecer una amplia gama de materiales de inyección que cubran los requerimientos de seguridad y apariencia, nos da alternativas viables para reducir los impactos económicos y medioambientales de nuestros productos, teniendo en cuenta que nuestros componentes deben proteger a nuestros clientes de manera efectiva y ser, al mismo tiempo, atractivos para el usuario final.

RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar un estudio comparativo de por lo menos 3 materiales poliméricos adicionales para obtener una gama más amplia de posibilidades de inyección, podrían considerarse para este ejercicio los polímeros reforzados con fibra de vidrio o carbono, poliolefinas modificadas o bien polímeros reforzados con carga nanométricas, ya que son materiales utilizados actualmente en la industria para la fabricación de diversos componentes y podrían ser de utilidad en esta aplicación.

También se propone, para el desarrollo de proyectos posteriores estudiar la posibilidad de realizar mezclas o mejoras a los materiales actualmente utilizados por la empresa en la inyección de parrillas exteriores, buscando potenciar las actuales propiedades de dichos polímeros.

Para lograr una mejor correlación de resultados, se propone un ensayo más aproximado a las condiciones reales de una parrilla exterior, por lo que se recomienda, realizar pruebas de inyección en moldes prototipo (aluminio) o productivos (acero) de la pieza de interés, de esta manera se podrán realizar pruebas físicas más apegadas al comportamiento real del componente, considerando las irregularidades del mismo y los factores externos que influyen en él, como lo son los parámetros de inyección y medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Mann, D. Automotive Plastics and Composites: Worldwide Markets and Trends. Kidlington, United Kingdom: Elsevier Advanced Technology, 1999.

[2] Jensen, W. B. The Origin of the Term Allotrope. s.l. : Journal of Chemical Education, 2006. págs. 838-839. Vol. 88.

[3] Ebewele, Robert Oboigbaotor. Polymer science and technology. University of Benin, Nigeria : s.n., 1996.

[4] Patil, Mr. Harsha. G . Polymers: General Properties and Applications Session – 9. Bangalore : M.S Ramaiah School of Advanced Studies, 2012.

[5] General Motors. Fascia Basics. VEC Tower, Warren Michigan : Global Engineering Training, 2019.

[6] A. Abdelnour, Steven y D.Baer, Steven. Vehicle fascia and grille assembly. US7896409 Clarkston, MI, 1 de March de 2011. US Patent.

[7] General Motors. Grille Basics. VEC Tower, Warren Michigan : Global Engineering Training, 2015.

[8] Sudin, M.N. Design of polymeric based composite automotive bumper fascia. Malacca, Malaysia : Technical University of Malaysia Malacca, 2003.

[9] General Motors. Impact Systems. VEC Tower, Warren Michigan : Global Engineering Training, 2017.

[10] General Motors. Grille Intermediate. VEC Tower, Warren Michigan : Global Engineering Training, 2016.

[11] General Motors. Plastics and Tooling. VEC Tower, Warren Michigan : Global Engineering Training, 2016.

[12] General Motors. Radiator Grilles Material Globally Approved. VEC Tower, Warren Michigan : GM Evaluation Report, 2017.

[13] General Motors. Structure and properties of polypropylene-based nanocomposites. University of texas at Austin : GM Research & Development Center, 2006.

[14] General Motors. Bumper system Requirements. VEC Tower, Warren Michigan : Global Engineering Training, 2015.

[15] General Motors. Bumper Subsystem Technical Specification. VEC Tower, Warren Michigan : s.n., 2017.

[16] Candido, Guido, Souza, Joao y Silveira, Ruimark. Technical and economic considerations in development design of bumper fascias of passenger vehicles in the automotive industry. Brasil : University of Sao Paulo, 2010.

[17] Madrigal Guzmán, José Fernando, y otros. Manual de plásticos para diseñadores. Universidad Autónoma de San Luis Potosí : s.n., 2013.

[18] General Motors. GMW16775_ Policarbonate Weather Resistant. VEC Tower, Warren Michigan : GM Engineering Standars, 2014.

[19] General Motors. Research report polymers properties . VEC Tower, Warren Michigan : GM Research Laboratories, 1981.

[20] General Motors. Grille Finishes ASA to lexan or paint proposals. VEC Tower, Warren Michigan : GM Evaluation Report, 2017.

[21] SZETEIOVÁ, Katarína. AUTOMOTIVE MATERIALS PLASTICS IN AUTOMOTIVE MARKETS TODAY. Institute of Production Technologies, Machine Technologies and Materials, Faculty of Material Science and Technology in Trnava, Slovak University of Technology Bratislava : s.n., 2010.

[22] General Motors. GMW155883_ASA. Warren, Michigan : GM WORLDWIDE ENGINEERING STANDARDS, 2016.

[23] General Motors. eBOM for china material spec. VEC Tower, Warren Michigan : s.n., 2017.

[24] General Motors. Chrome fundamentals. VEC Tower, Warren Michigan : Global Engineering Training, 2019.

[25] General Motors. ASA High Gloss, Weatherable Terpolymer. VEC Tower, Warren Michigan : GM Engineering Standars, 2011.

[26] Elcometer Limited. https://www.elcometer.com/es/medicin-de-brillo.html#:~:text=Descripci%C3%B3n%20del%20brillo,se%20mide%20mediante%20un%20brill%C3%B3metro. Elcometer . [En línea] 2018.

[27] PRESTO GROUP. PRESTO TESTING INSTRUMENTS . [En línea] PRESTO GROUP. [Citado el: 10 de JUNE de 2020.] https://www.prestogroup.com/blog/astm-d523-and-astm-d2457-standard-for-gloss-meter/.

[28] General Motors. GMW14093. Determination of impact resistance of plastic components. Michigan : GM Worldwide Engineering Standars, 2018.

[29] General Motors. GMW3010. Determination of Tensile and Elongation Properties. Michigan : GM WORLDWIDE ENGINEERING STANDARS., 2019.

[30] Dripke, Manfred. [En línea] [Citado el: 06 de June de 2020.] https://www.qualitymag.com/ext/resources/files/white_papers/ChoosingtheRightExtensometerEveryMaterialsTestingApp-Zwick.pdf.

[31] General Motors. Radiator Enviromental stress cracking, laser cut. VEC Tower, Warren Michigan : GM Evaluation Report, 2018.

[32] General Motors. Radiator Enviromental stress cracking, Water Jet cut. VEC Tower, Warren Michigan. : GM Evaluation Report, 2018.

[33] Poth, Ulrich. Automotive Coatings Formulation: Chemistry, Physics und Practices. Lamspringe, Germany : Hannover: Vincentz Network, 2008.

[34] General Motors. MY2021 Grille Material Core PDT. VEC Tower, Warren Michigan : GM Evaluation Report, 2017.

[35] General Motors. Lexan Grille exposure to windshield washer fluid . VEC Tower,Warren Michigan : GM Evaluation Report, 2017.

[36] General Motors. Lexan Grille Resistance to enviromental stress cracking . VEC Tower, Warren Michigan : GM Evaluation Report, 2017.

[37] General Motors. Expose SABIC Lexan SLX2276T tensile bars to car shampoo per GMW15790. VEC Tower, Warren Michigan : GM Evaluation Report, 2018.

[38] General Motors. CYCOLOY™, SABIC. RESIN MC1300. https://pc-api-public.sabic.com/uploads/26dd5ef0/5e62/e711/80fb/005056857ef3/CYCOLOY%E2%84%A2%20%20Resin_MC1300_Asia_Technical_Data_Sheet.pdf. 2017, pág. Consultada 3 de Julio de 2019.

[39] General Motors. LyondellBasell Industries, Holdings. Softell. https://www.lyondellbasell.com/en/polymers/p/Softell-TKG-300NU-BLK/97e181f9-8c68-407f-ac8f-b83a7923342d. 2019, pág. Consultada 3 de Julio de 2019.

[40] Celanese.Celastran. http://tools.celanese.com/standard/main/quicksearch/ds/0. 2016, pág. Consultada 3 de Julio 2019.

[41] Zwick/Roell. www.zwickroell.com/. [En línea] [Citado el: 06 de June de 2020.] https://www.zwickroell.com/-/media/files/sharepoint/vertriebsdoku_br/industry-brochures/99_269_testing_of_plastics_and_rubber_e_en.pdf.

[42] Zwick / Roell. www.zwickroell.com. [En línea] Zwick / Roell. [Citado el: 06 de June de 2020.] https://www.zwickroell.com/es-es/pre-owned-testing-machines/1012037_zwickroell_z030_th_30kn.