

Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i2.2691>

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de investigación

*Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas*

*Study of aerodynamic characteristics for the design of rear-view mirrors for urban mass transport of people*

*Estudo das características aerodinâmicas para a concepção de espelhos retrovisores para o trânsito de massa urbana*

Guillermo Gorky Reyes-Campaña<sup>I</sup>  
[gureyesca@uide.edu.ec](mailto:gureyesca@uide.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-7133-9509>

Jorge Luis Cepeda-Miranda<sup>II</sup>  
[jocepedami@uide.edu.ec](mailto:jocepedami@uide.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-6880-2515>

Joselyn Paola Simbaña-Simbaña<sup>III</sup>  
[jossimbanasi@uide.edu.ec](mailto:jossimbanasi@uide.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-4155-4782>

Oscar Santiago Romero-Bolaños<sup>IV</sup>  
[osromerobo@uide.edu.ec](mailto:osromerobo@uide.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-7082-668X>

Correspondencia: [gureyesca@uide.edu.ec](mailto:gureyesca@uide.edu.ec)

\***Recibido:** 05 de marzo del 2022 \***Aceptado:** 28 de marzo de 2022 \* **Publicado:** 19 de abril de 2022

- I. Universidad Internacional del Ecuador, Docente Investigador, Coordinador Investigación, Escuela Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.
- II. Docente investigador, Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.
- III. Universidad Internacional del Ecuador, Estudiante de la Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.
- IV. Universidad Internacional del Ecuador, Estudiante de la Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.

## Resumen

El uso de espejos retrovisores se ha visto implicado desfavorablemente por factores físicos, a través de encuestas realizadas a conductores profesionales en la ciudad de Quito acerca de su experiencia con retrovisores de buses, el 76,6 % mencionan que a mediano plazo pierden efectividad en la sujeción. Por este motivo el objetivo principal fue analizar dos diseños existentes con uno propuesto por medio de simulaciones virtuales donde se identificó las deficiencias aerodinámicas causadas por fuerzas externas. Mediante el método exploratorio experimental se empleó la ingeniería asistida por computador, se analizó las cargas a las que está sometido un vehículo y sus componentes. Se comparó la eficiencia de los modelos frente a esfuerzos y su resistencia aerodinámica, se examinó el límite de fluencia y resistencia a la tracción. Aún con su valor máximo de tensión el P3 presenta un rango de  $3,18E+03$  (MPa) para sobrepasar el límite elástico y  $2,48E+03$  (MPa) para fracturarse en su zona más crítica. Se determinó que el retrovisor propuesto es 93% más eficiente que el R1 y R2 realizando un promedio en los cuatros casos de carga aplicadas. El P3 tiene el valor máximo más bajo registrado de  $1,43E-01$ (MPa) en todos los casos de carga.

**Palabras clave:** Espejos retrovisores; Von Mises; límite elástico; características aerodinámicas; transporte masivo urbano.

## Abstract

The use of rear-view mirrors has been unfavorably implicated by physical factors, through surveys conducted to professional drivers in the city of Quito about their experience with bus mirrors, 76.6% mentioned that in the medium term they lose effectiveness in fastening. For this reason, the main objective was to analyze two existing designs with one proposed by means of virtual simulations where the aerodynamic deficiencies caused by external forces were identified. Using the experimental exploratory method, computer-aided engineering was used to analyze the loads to which a vehicle and its components are subjected. The efficiency of the models against stresses and their aerodynamic resistance was compared, the yield strength and tensile strength were examined. Even with its maximum stress value, the P3 presents a range of  $3.18E+03$  (MPa) to exceed the elastic limit and  $2.48E+03$  (MPa) to fracture in its most critical zone. It was determined that the proposed retrofit is 93% more efficient than R1 and R2 by averaging over the four applied load cases. P3 has the lowest recorded maximum value of  $1.43E-01$ (MPa) in all load cases.

**Keywords:** Rear-view mirrors; Von Mises; yield strength; aerodynamic characteristics; urban mass transit.

## Resumo

A utilização de espelhos retrovisores tem sido afectada negativamente por factores físicos, através de inquéritos realizados com condutores profissionais na cidade de Quito sobre a sua experiência com espelhos de autocarros, 76,6% mencionaram que a médio prazo perdem eficácia na aderência. Por este motivo, o principal objectivo era analisar dois desenhos existentes com um proposto através de simulações virtuais onde se identificavam as deficiências aerodinâmicas causadas por forças externas. Utilizando o método experimental exploratório, a engenharia assistida por computador foi utilizada para analisar as cargas a que um veículo e os seus componentes são submetidos. A eficiência de tensão dos modelos e a sua resistência aerodinâmica foram comparadas, a tensão de cedência e a resistência à tracção foram examinadas. Mesmo no seu valor máximo de tensão, o P3 tem um intervalo de  $3,18E+03$  (MPa) para exceder a tensão de cedência e  $2,48E+03$  (MPa) para se fracturar na sua zona mais crítica. O espelho proposto foi considerado 93% mais eficiente do que R1 e R2, estabelecendo-se uma média sobre os quatro casos de carga aplicada. P3 tem o valor máximo mais baixo registado de  $1,43E-01$  (MPa) em todos os casos de carga.

**Palavras-chave:** espelhos retrovisores; Von Mises; yield strength; características aerodinámicas; trânsito de massa urbana.

## Introducción

Los espejos retrovisores son dispositivos fundamentales que posee todo vehículo, según la normativa INEN 1155 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015), indica la exigencia que tanto al lado derecho como al izquierdo del vehículo, deberá contar con estos dispositivos para visualizar el entorno de una manera rápida y eficaz (Agustín, 1992). En base a las encuestas realizadas a conductores profesionales de vehículos de la sub categoría M3 clase II, los retrovisores son importados, y estos elementos pierden su efectividad a mediano plazo y generan un desgaste en la sujeción por distintas variantes físicas a los que están sometidos (Joselyn Simbaña, 2021). La presente investigación se enfocó en realizar un rediseño que cumpla con las normativas vigentes, que mejore las condiciones de efectividad a largo plazo y minimice la resistencia provocada por fuerzas externas

## Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas

---

(Norma Técnica Ecuatoriana, 2016). A nivel nacional existen 54 empresas dedicadas al ensamblaje de carrocerías de buses que se rigen a la Normativa INEN 1323 (Moreta, 2015) y cuentan con la certificación de homologación de la Agencia Nacional de Tránsito (Mario Altamirano, 2020), para el ensamblaje total el 25 % de elementos son importados, entre ellos se encuentra los espejos retrovisores, motor, caja de cambios y dispositivos electrónicos (Osorio, 2016).

El principal objetivo de la investigación es el análisis de dos diseños existentes con uno propuesto, por medio de simulaciones virtuales se identificó las deficiencias aerodinámicas que presentan los retrovisores en los vehículos de transporte público. Se indaga sobre los materiales con los que están contruidos, sus normativas y se desarrollan los modelos de acuerdo a las características físicas del vehículo.

La investigación realizada por Byron Enríquez, Iván Espinoza y Elías Ponce menciona que softwares MEF facilitan el análisis de cargas máximas de tensión en un corrector de camber, con un factor de seguridad que permitió reducir los daños estructurales causados por la deformación del material (Vladimir, 2020) (Ivám Espinoza, 2020), lo que significa que la simulación MEF permiten diseñar y analizar los esfuerzos máximos de tensión según el rango permisible de plasticidad del material evitando fracturas.

El estudio ejecutado por Ember Zumba determina que para imprimir manijas de elevador de vidrios en 3D se seleccionó el material ABS debido a su resistencia en altas temperaturas y presenta mejoras en propiedades mecánicas y térmicas (Novay, 2020).

Un estudio de la UNAM por David Velazquillo menciona que se analizó variables en bancos de pruebas CAE para determinar la resistencia de los materiales. Tuvo como finalidad probar el accionamiento mecánico de puertas en vehículos (David Velazquillo, 2013).

Para alcanzar los objetivos propuestos de esta investigación, se utilizó el método experimental y exploratorio, los mismos facilitaron la prueba de los diseños estructurales propuestos, y así obtener los resultados para comparar el material y diseño de cada modelo.

### Metodología

El presente estudio utilizó el método exploratorio; se investigó en fuentes bibliográficas los materiales empleados en retrovisores de vehículos de transporte público de la sub categoría M3 clase II, bajo qué normativa están contruidos y mediante la encuesta de campo de 7 preguntas cerradas de opción

## Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas

múltiple realizadas a 60 conductores de vehículos de transporte público en la Ciudad de Quito. Se utilizó el método experimental para la simulación del modelo propuesto y los existentes, se comparó los modelos analizando el criterio de diseño Von Mises, su desplazamiento y deformación unitaria en distintos casos de carga con un enfoque cuantitativo de la eficiencia en los esfuerzos y la resistencia aerodinámica generada.

Para la presente investigación se inició con una encuesta de campo de 7 preguntas cerradas de opción múltiple a los conductores de vehículos de transporte público de la sub categoría M3 clase II.

### Resultados

#### Datos de entrada

En el presente estudio se identificó los términos R1, R2 y P3 correspondientes al retrovisor uno, retrovisor dos y al retrovisor propuesto, están diseñados al lado izquierdo de los vehículos visto desde atrás del mismo (CYMACO, 2021).



**Fuente:** (Autores, 2022)

El P3 se diseñó con tres espejos, un plano y dos cóncavos dentro de la estructura para una mayor visibilidad para el conductor.

Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas

**Tabla 1.** Características de los retrovisores exteriores

	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>P3</b>
<b>Largo</b>	164 cm	172 cm	184 cm
<b>Ancho</b>	20 cm	25 cm	30 cm
<b>Profundidad</b>	11 cm	9 cm	13 cm
<b>Materiales (Brazo)</b>	Fibra de vidrio	Aluminio	Fibra de Vidrio
<b>Materiales (Carcasa)</b>	Fibra de vidrio	Plástico ABS	Fibra de vidrio
<b>Peso</b>	11 kg	12.5 kg	X

**Fuente:** (Autores, 2022)

La tabla 1 indica las características físicas de forma y materiales.

### Datos de los modelos matemáticos

Para la elaboración de los diseños, se buscó datos de densidad, radio máximo y el coeficiente de resistencia que presentan los vehículos de la sub categoría M3 clase II.

**Tabla 2.** Datos de entrada para las ecuaciones

<b>Datos Generales</b>	
<b>Velocidad 40 km/h</b>	11,11 m/s
<b>Velocidad 70 km/h</b>	19,44 m/s
<b>Densidad</b>	1,225 kg/m <sup>3</sup>
<b>Radio máximo a 40 km/h</b>	50 m
<b>Radio máximo a 70 km/h</b>	190 m
<b>Coefficiente de resistencia</b>	0,50

**Fuente:** (Autores, 2022)

La tabla 2 indica los valores utilizados en las ecuaciones. Los datos facilitan la obtención de resultados para ingresar las cargas al software y analizar la tensión máxima admisible sin sobrepasar el límite plástico, se usó el mismo bus para los tres modelos.

### Casos de cargas

#### Carga aerodinámica

Es la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal (Normalización, Instituto Ecuatoriano de, 2009). Se utilizó la siguiente ecuación:

$$Raf = \left(\frac{1}{2}\right) \rho Cx Afx V^2$$

**Ecuación 1**

Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas

Donde:

$R_{af}$  = Carga por resistencia Aerodinámica, en (N)

$\rho$  = Densidad del aire, en (kg/m<sup>3</sup>)

V = Velocidad del aire, en (m/s). Como mínimo 25 m/s.

$A_f$  = Área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal, en (m<sup>2</sup>)

$C_x$  = Coeficiente de resistencia frontal del aire. (Como mínimo 0.7)

El coeficiente de resistencia aerodinámica al avance para autobús convencional es de 0,50 (Cepeda, 2006). La densidad del aire en la ciudad de Quito es de 1,225 kg/m<sup>3</sup>. El área frontal en la sección transversal es la del vehículo de la sub categoría M3 clase II escogido. Para ingresar los resultados de la carga aerodinámica en el software se tomará como referencia la velocidad máxima (V1) que es de 40 km/h en la zona urbana y velocidad máxima (V2) de 70 km/h en zona perimetral como lo establece en la Ley para el transporte público de pasajeros en el Distrito Metropolitano de Quito (Benalcázar, 2017).

**Tabla 3.** Cargas Aerodinámicas

	<b>Velocidad 1</b>	<b>Velocidad 2</b>
<b><math>C_x</math></b>	0,50	0,50
<b><math>\rho</math></b>	1,225 kg/m <sup>3</sup>	1,225 kg/m <sup>3</sup>
<b><math>a_f</math></b>	7,51 m <sup>2</sup>	7,51 m <sup>2</sup>
<b><math>R_{af}</math></b>	283,78 N	868,85 N

**Fuente:** (Autores, 2022)

La tabla 3 indica los valores de carga aerodinámica a las velocidades analizadas.

### Carga de giro

Se interpreta como el momento en que el vehículo ingresa a una curva a una velocidad determinada generando así una fuerza centrífuga en el centro de gravedad del vehículo (Normalización, Instituto Ecuatoriano de, 2009). Puede expresarse de la siguiente forma:

$$F_g = M * \frac{v^2}{r}$$

**Ecuación. 2**

Donde:

$F_g$  = Fuerza de giro (N)

Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas

M=Masa de la estructura (Kg)

V= Velocidad al cuadrado (m/s)

R=Radio máximo

La carga muerta hace referencia al peso bruto del vehículo (Normalización, Instituto Ecuatoriano de, 2009). La carga viva indica el peso de los ocupantes, equivalente a 70 kg, según especifica la Normativa INEN 1323 (Normalización, Instituto Ecuatoriano de, 2009).

**Tabla 4.** Peso Total

<b>Vehículo de Transporte Público</b>	
Carga Muerta	14200 kg
Carga Viva	5740 kg
Peso Total	19940 kg

**Fuente:** (Autores, 2022)

Se considera que el vehículo tiene una capacidad máxima de 82 personas distribuidas uniformemente. El radio máximo de giro de las velocidades aplicadas, se tomó de la Norma IC Trazado de la Instrucción de Carreteras según la Orden FOM/273/2016 (Fomento, 2016).

**Tabla 5.** Fuerza de Giro

	<b>Velocidad 1</b>	<b>Velocidad 2</b>
M	19940 kg	19940 kg
R	50 m	190 m
F <sub>g</sub>	49224,721 N	39661,038 N

**Fuente:** (Autores, 2022)

La tabla 5 indica la fuerza de giro que se aplica al vehículo.

### **Carga de frenado**

Al aplicar una desaceleración se genera una fuerza de frenado, y se aplica en la misma dirección del movimiento del vehículo (Cepeda, 2006). Se utilizó es la siguiente ecuación:

$$a_{Frenado} = \frac{v_f - v_0}{t}$$

**Ecuación. 3**



Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas

Donde:

$$a_{frenado} = \text{frenado(N)}$$

V= Velocidad inicial (m/s).

$V_f$ = Velocidad final (m/s).

t= Tiempo (s).

La Normativa INEN 1323 menciona que la fuerza de frenado debe ser mayor o igual a  $4 \text{ m/s}^2$  según los ensayos aplicados al rendimiento de frenado (Normalización, Instituto Ecuatoriano de, 2009). La ecuación de la fuerza de frenado se expresa como:

$$f_r = M * a_{Frenado}$$

**Ecuación. 4**

Donde:

$F_f$ = Fuerza de frenado(N)

M= Masa (kg).

$a_{frenado}$ = frenado.

Para determinar el frenado del vehículo de esta categoría, se tomó como referencia la velocidad de 40 km/h y 70 km/h con su respectivo tiempo de detención.

**Tabla 6.** Cargas de Frenado Violento

	<b>Velocidad 1</b>	<b>Velocidad 2</b>
$V_0$	11,11 m/s	19,44 m/s
$V_f$	0	0
t	7,97 seg	13,08 seg
$a_{Frenado}$	1,394 m/s <sup>2</sup>	1,486 m/s <sup>2</sup>

**Fuente:** (Autores, 2022)

El resultado de la carga de frenado se obtiene de la masa total del vehículo, que se suma con cargas vivas por el valor del  $a_{Frenado}$ .

Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas

**Tabla 7.** Carga de Frenado

	V1	V2
Muerta	14200 kg	142000 kg
Viva	5740 kg	5740 kg
$a_{Frenado}$	1,394 m/s <sup>2</sup>	1,486 m/s <sup>2</sup>
$f_r$	-27796,36 N	-29630,84 N

**Fuente:** (Autores, 2022)

La tabla 7 muestra el valor resultante de la carga de frenado de la ecuación 4 correspondiente a la velocidad permitida tanto para las zonas rurales y urbanas.

### **Carga de aceleración**

La carga de aceleración es igual a la ecuación de carga de frenado, la diferencia es que la dirección del movimiento se produce al lado contrario. (Cepeda, 2006).

### **Puntos previos a la simulación**

Para un completo análisis estructural se valoran los criterios de falla Von Mises, desplazamiento, y deformación unitaria. En el presente estudio se enfatizó el criterio Von Mises dado que este determina si una estructura se deforma permanentemente o se fractura. Se colocaron restricciones en la parte izquierda del brazo simulando la sujeción a la carrocería. Se observa una barra de colores que indica los valores mínimos y máximos. Sim solid posee un ajuste de deformación para realzar el movimiento y que sea más visible, sin embargo, esto no sucede en la realidad. Se realizaron dos simulaciones, la primera a una velocidad de 40 km/h y la segunda a 70 km/h, la fuerza se coloca en la misma dirección y en las mismas zonas.

### **Material empleado del software**

A cada espejo retrovisor se le añadió un material específico en cada parte de su estructura, en la tabla 8 se evidencia las características técnicas de cada material.

Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas

**Tabla 8.** Materiales aplicados

Materiales	Plást. ABS	Alum.	Plást.	Fib vidrio
Mod. Elast. (MPa)	2,2+03	7,3+04	7,0+02	7,2+04
Coef. Pois.	0,38	0,33	0,4	0,19
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1,0+03	2,7+03	1,2+03	2,5+02
Resis. Trac. (MPa)	2,0+01	4,6+02	4,0+01	2,5+03
Lím. Fl..Trac. (MPa)	2,9+01	3,2+02	3,0+01	3,2+03
Lím. Fl. Com. (MPa)	2,0+01	3,2+02	3,0+01	3,2+03

Fuente: (Autores, 2022)

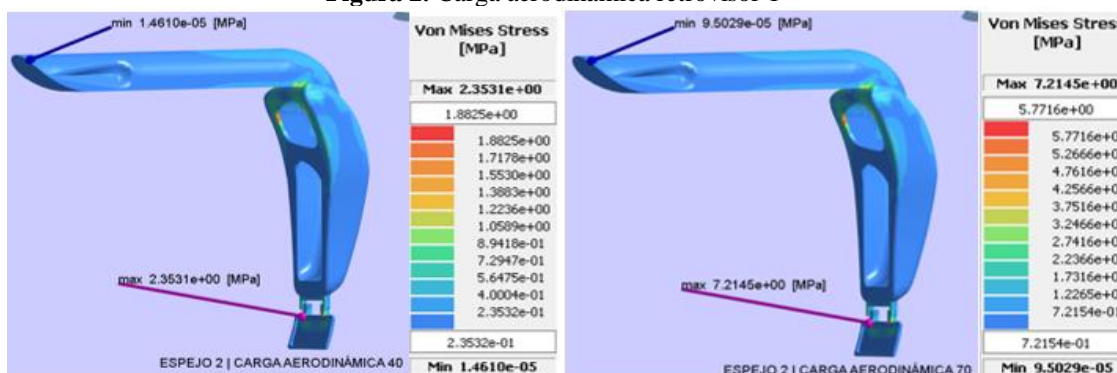
El objetivo de la simulación es demostrar que los valores máximos de tensión no sobrepasen la resistencia a la tracción ni el límite de fluencia indicado en la tabla 8.

### Resultados individuales retrovisor 1

#### Carga aerodinámica (Von Mises)

Se coloca la carga en el área frontal del retrovisor, viene dada de adelante hacia atrás como se observa en la Figura 2. Al ser una fuerza imperceptible la estructura principal no tuvo ningún desplazamiento; el espejo inferior al ser un elemento auxiliar de visibilidad y estar sujeto únicamente en la parte superior presenció un desplazamiento pendular hacia atrás.

**Figura 2.** Carga aerodinámica retrovisor 1



Fuente: (Autores, 2022)

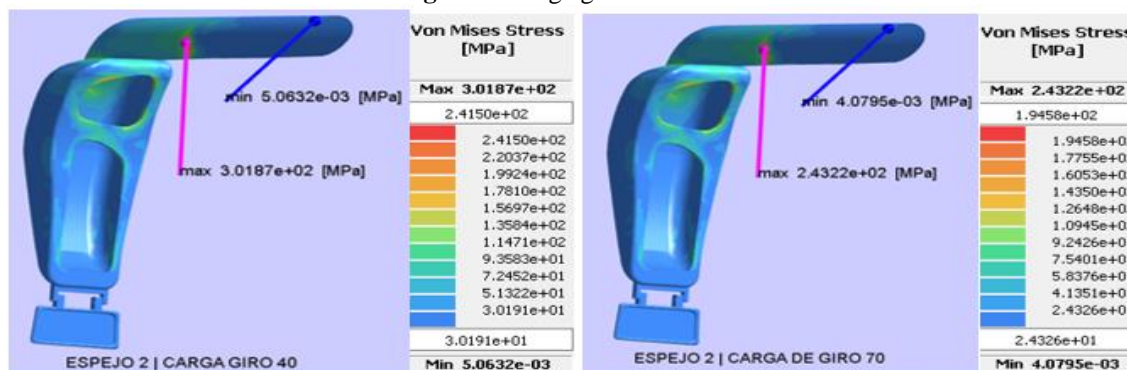
## Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas

El valor máximo a una velocidad de 40 km/h es de 2,25E+00 MPa y a 70 km/h es de 7,21E+00 MPa, siendo esta mayor por el aumento de velocidad.

### ***Carga de giro (Von Mises)***

La fuerza se aplica contrariamente a la sujeción del retrovisor a la carrocería del bus. La Figura 3 muestra un desplazamiento hacia el lado izquierdo y la zona más afectada es la parte media del brazo de la estructura que al tener el anclaje de la sujeción se dobla por la mitad formando un efecto de palanca.

Figura 3. Carga giro retrovisor 1



Fuente: (Autores, 2022)

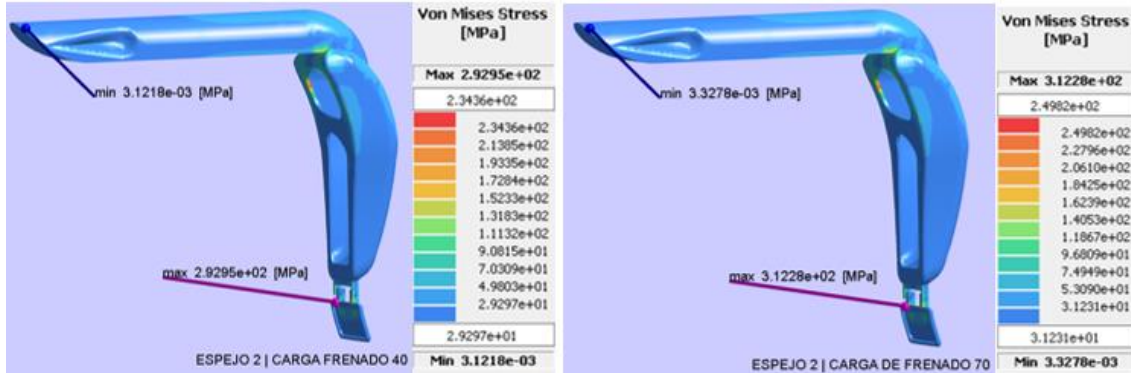
El valor máximo a la velocidad de 40 km/h de 3,01E+02 MPa y a 70 km/h la carga máxima es de 2,43E+02 MPa. El primer valor es más alto dado a que el radio es menor y la fuerza de giro será mayor por la distancia de la fuerza centrífuga.

### ***Carga de frenado (Von Mises)***

Se aplica la carga de atrás hacia delante del vehículo, como se aprecia en la Figura 4 el espejo retrovisor extra es empujado hacia delante por la fuerza de frenado.

Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas

Figura 4. Carga de frenado retrovisor 1



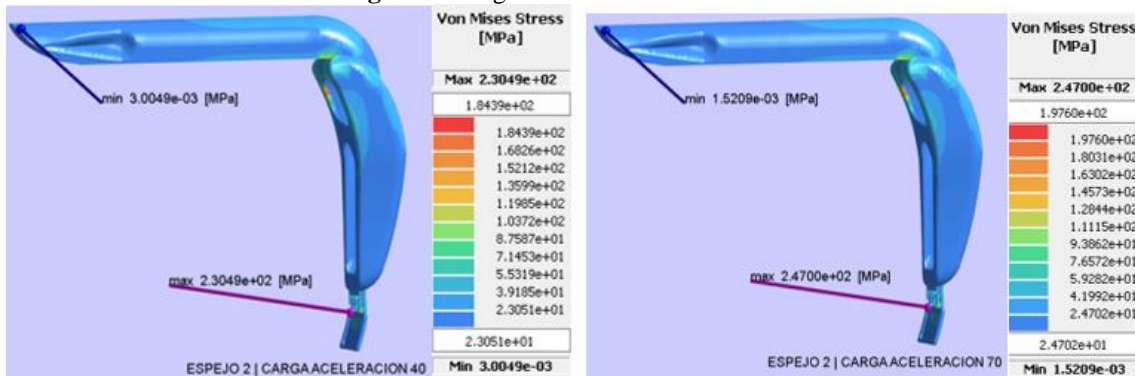
Fuente: (Autores, 2022)

A 40 km/h el valor máximo es de  $2,92E+2$  MPa y a 70 km/h es de  $3,12E+2$  MPa. A 70 km/h el valor es más alto ya que a mayor velocidad el frenado será más violento.

**Carga de aceleración (Von Mises)**

La carga de aceleración y de frenado poseen el mismo valor sin embargo la dirección en la que se aplica la carga es opuesta, viene dada de adelante hacia atrás. Como se observa en la Figura 5 el retrovisor tiene un desplazamiento hacia atrás.

Figura 5. Carga de aceleración retrovisor 1



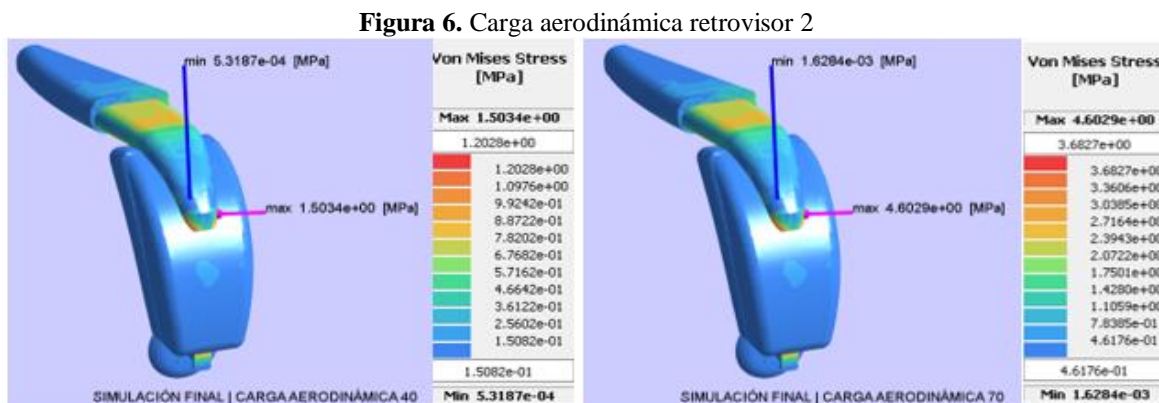
Fuente: (Autores, 2022)

El valor máximo a 40 km/h es de  $2,30E+02$  MPa y a 70 km/h es de  $2,47E+02$  MPa, al tener una mayor aceleración la fuerza será más violenta.

## Resultados individuales retrovisor 2

### Carga aerodinámica (Von Mises)

En la Figura 6 se observa que la zona más crítica en respuesta a la carga aplicada es la unión de la parte final del brazo y la carcasa del espejo retrovisor, que es empujado de adelante hacia atrás.

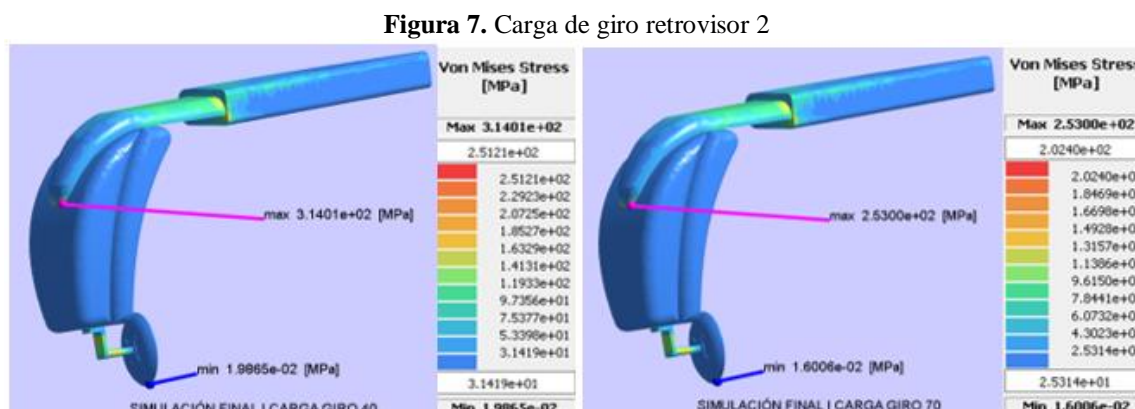


Fuente: (Autores, 2022)

El valor máximo analizado a una velocidad de 40 km/h es de 1,50E+00 MPa y a una velocidad de 70 km/h la carga máxima es de 4,60E+00 MPa.

### Carga de giro (Von Mises)

La Figura 7 indica como la carga empuja la estructura hacia su lado interno, siendo la unión de la parte final del brazo y la carcasa del retrovisor la zona más afectada.



Fuente: (Autores, 2022)

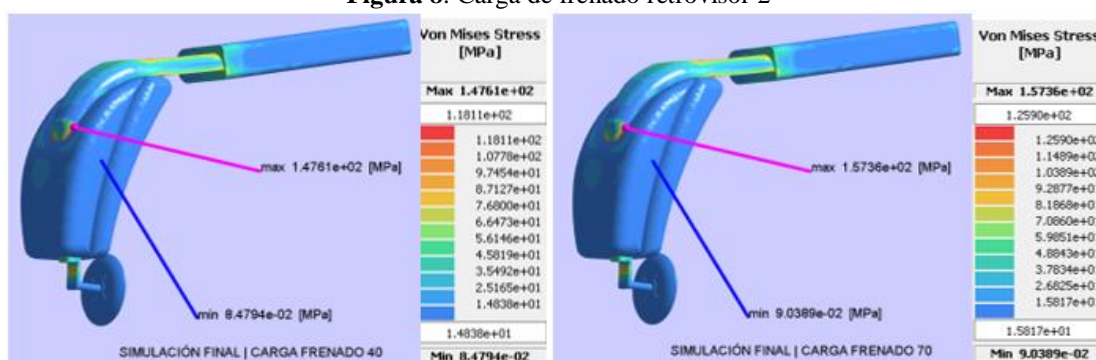
## Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas

El valor máximo representado a una velocidad de 40 km/h es de  $3,14E+02$  MPa y a una velocidad de 70 km/h la carga máxima es de  $2,53E+02$  MPa.

### Carga de frenado (*Von Mises*)

La unión de la parte del brazo con la carcasa del retrovisor es la zona que concentra mayor tensión; el desplazamiento de atrás hacia delante empuja hacia arriba a la parte final del brazo tratando de separarlo como se aprecia en la Figura 8.

Figura 8. Carga de frenado retrovisor 2



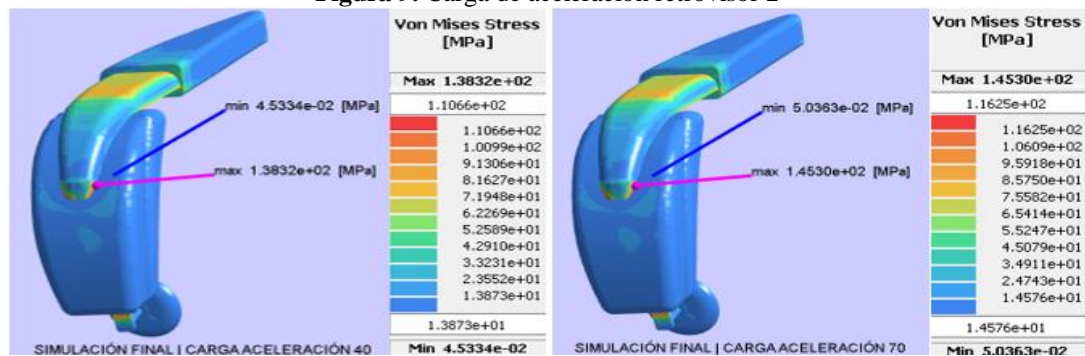
Fuente: (Autores, 2022)

A una velocidad de 40 km/h el valor máximo es de  $1,47E+02$  MPa y a una velocidad de 70 km/h la carga máxima es de  $1,57E+02$  MPa.

### Carga de aceleración (*Von Mises*)

La zona con mayor afectación está ubicada en la misma parte que en los demás casos. La Figura 9 indica como el brazo empuja al cuerpo del espejo retrovisor hacia atrás.

Figura 9. Carga de aceleración retrovisor 2



Fuente: (Autores, 2022)

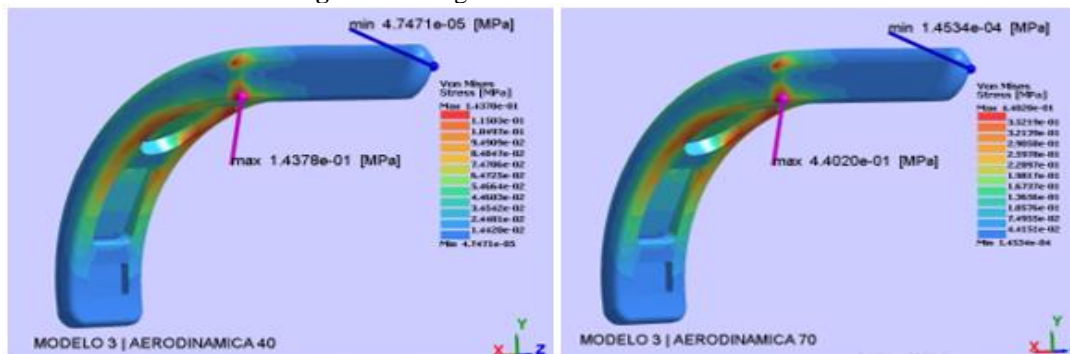
El valor máximo a una velocidad de 40 km/h es de  $1,38E+02$  MPa y a una velocidad de 70 km/h la carga máxima es de  $1,45E+02$  MPa.

### Resultados individuales retrovisor 3

#### *Carga aerodinámica (Von Mises)*

La Figura 10 muestra al P3 que es un solo cuerpo, la parte superior izquierda del brazo posee el anclaje, esta parte es inmóvil a diferencia del resto del cuerpo del retrovisor. La carga que viene de adelante hacia atrás dobla la estructura donde empieza la curvatura.

Figura 10. Carga de aerodinámico retrovisor 3



Fuente: (Autores, 2022)

El valor máximo correspondiente al P3 a una velocidad de 40 km/h es de  $1,43E-01$  MPa y a una velocidad de 70 km/h la carga máxima es de  $4,40E-01$  MPa.

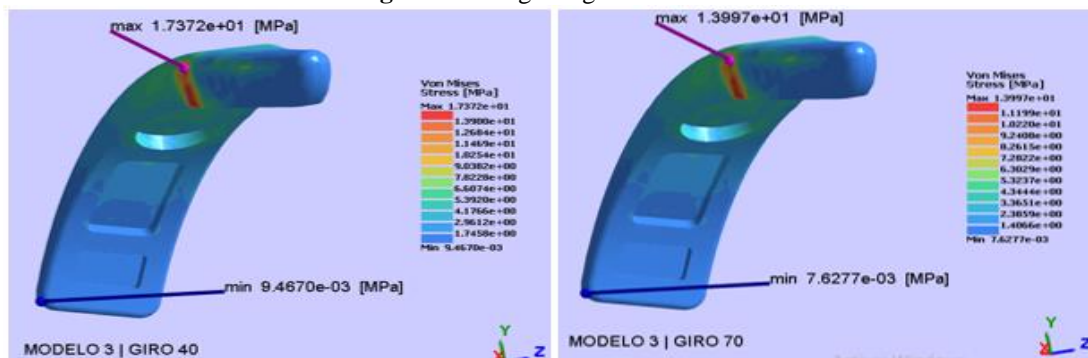
#### *Carga de giro (Von Mises)*

Se produce una fuerza centrífuga de derecha a izquierda y genera un efecto de torcedura en la zona donde empieza la curva del retrovisor como se observa en la Figura 11.



Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas

Figura 11. Carga de giro retrovisor 3



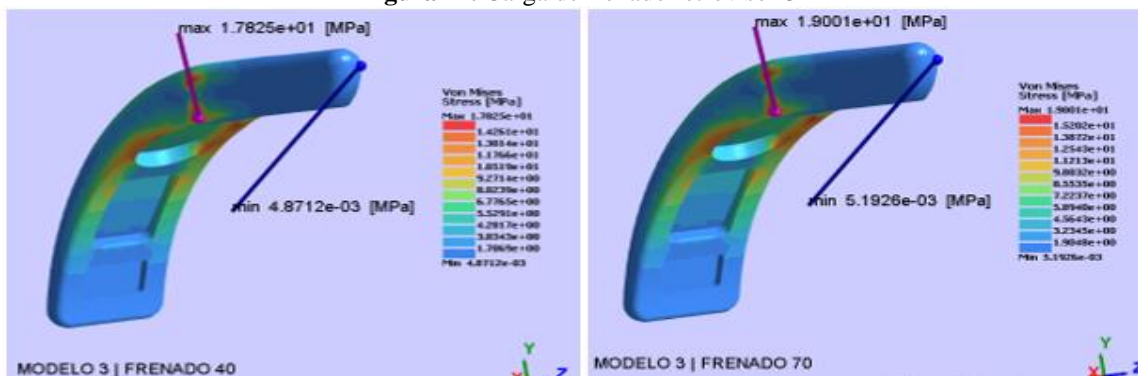
Fuente: (Autores, 2022)

La carga de giro indica a una velocidad de 40 km/h que el valor máximo es de  $1,73E+01$  MPa y a una velocidad de 70 km/h la carga máxima es de  $1,39E+01$  MPa.

**Carga de frenado (Von Mises)**

Al tener una carga hacia delante la Figura 12 señala cómo se desplaza hacia la misma dirección afectando en mayor proporción a la zona donde inicia la curvatura.

Figura 12. Carga de frenado retrovisor 3



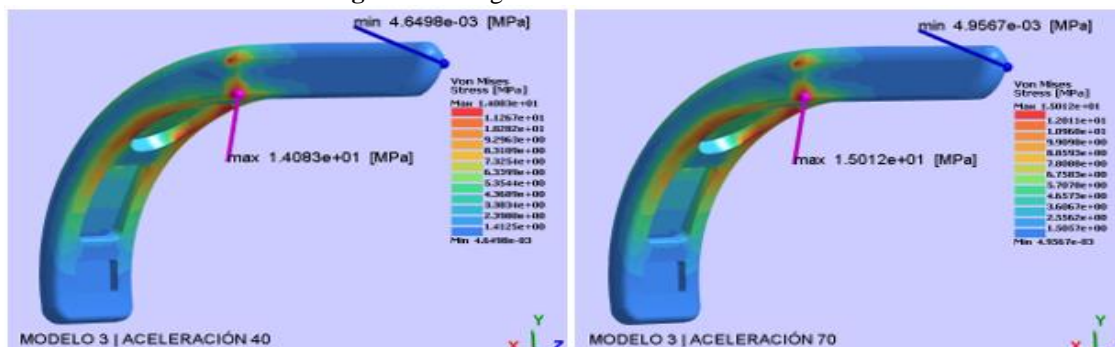
Fuente: (Autores, 2022)

El P3 genera a una velocidad de 40 km/h un valor máximo de  $1,78E+01$  MPa y a una velocidad de 70 km/h la carga máxima es de  $1,90E+01$  MPa.

**Carga de aceleración (Von Mises)**

Como en la carga aerodinámica la estructura se desplaza de adelante hacia atrás, se evidencia que la zona crítica es la misma con diferentes valores máximos de tensión como se observa en la Figura 13.

**Figura 13.** Carga de aceleración retrovisor 3



Fuente: (Autores, 2022)

Los valores máximos del P3 a una velocidad de 40 km/h es de 1,40E+01 MPa y a una velocidad de 70 km/h la carga máxima es de 1,50E+01 MPa.

### Comparación Von Mises espejos retrovisores

La tabla 9 muestra los valores máximos de tensión de cada retrovisor, se encuentran de color rojo los valores máximos obtenidos en cada prueba comparando los tres retrovisores.

El R1 en los casos de carga aerodinámica, frenado y aceleración a 40 km/h y 70 km/h obtuvieron los valores máximos de tensión de Von Mises, a esta estructura el conductor añadió un espejo auxiliar que no tuvo un previo estudio de diseño. En el caso de la carga de giro el valor máximo viene dado por el R2 dado que esta fuerza empuja la estructura hacia su lado interno, afectando la unión del brazo y la carcasa del espejo retrovisor.

**Tabla 9.** Von Mises R1, R2 y P3

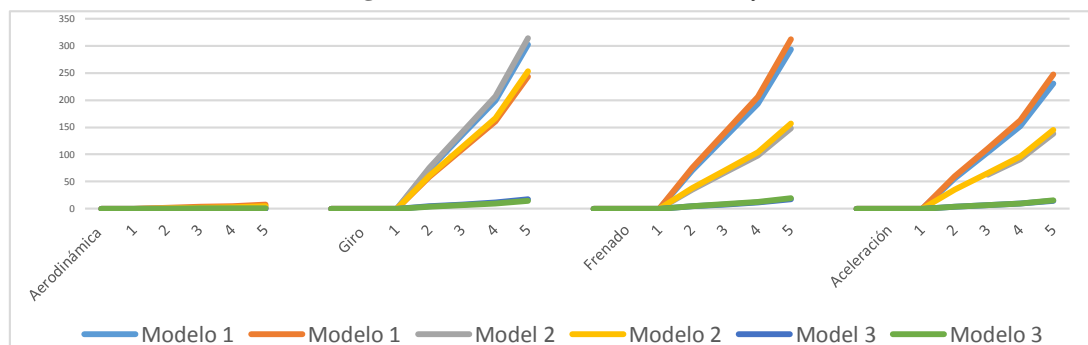
Valores máximos Von Mises		40 km/h	70 km/h
R1	Aer.	2.3531E+00	7.2145e+00
	Gir.	3,0187E+02	2.4322e+02
	Fren.	2.9295e+02	3.1228e+02
	Acel.	2.3049e+02	2.4700e+02
R2	Aer.	1.5034e+00	4.6029e+00
	Gir.	3.1401e+02	2.5300e+02
	Fren.	1.4761e+02	1.5736e+02
	Acel.	1.3832e+02	1.4530e+02
P3	Aer.	1.4378e-01	4.4020e-01
	Gir.	1.7372e+01	1.3997e+01
	Fren.	1.7825e+01	1.9001e+01
	Acel.	1.4083e+01	1.5012e+01

Fuente: (Autores, 2022)

## Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas

En todos los casos analizados el P3 alcanzó los valores más bajos como se puede observar en la siguiente Figura 14.

**Figura 14.** Curvas Von Mises R1, R2 y P3



Fuente: (Autores, 2022)

Las primeras curvas representan a la carga aerodinámica, al ser esta fuerza imperceptible, el crecimiento de las curvas se mantiene cerca de la línea del eje X, el segundo grupo de carga de giro tiene el valor máximo obtenido en todas las pruebas por el R2 a 40 km/h sobrepasando los 300 MPa, el tercer grupo de carga de frenado tiene el segundo valor más alto con el R1 a 70 km/h y las últimas curvas proporcionan los valores de la carga de aceleración. La curva celeste y verde que pertenecen al P3 no sobrepasan los 20 MPa siendo valores visiblemente más bajos a comparación del R1 y R2. El diseño del P3 es más eficiente y aerodinámico en su estructura. Se obtuvo un promedio de los valores máximos del R1 y R2 en los casos de cargas más críticas y el porcentaje de eficiencia del P3 es del 93% considerando que en el P3 la estructura es un solo cuerpo y la mayor concentración de tensión del R1 y R2 se encuentra en los espejos auxiliares.

### Límite de fluencia y resistencia a la tracción

La tabla 10 indica los valores máximos de cada modelo en las pruebas y los valores del límite de fluencia y de resistencia a la tracción de cada material empleado, cabe recalcar que Sim solid proporciona una amplia lista de materiales para aplicar a los diseños y determinar el material que dará mejores resultados. En el R1 en los casos de carga aerodinámica, frenado y aceleración la zona más afectada fue en las platinas de aluminio que sujetan al espejo auxiliar, en la carga de giro fue la parte media del brazo a la que se colocó como material la fibra de vidrio por esta razón los valores del

Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas

límite de fluencia y resistencia a la tracción corresponden a estos materiales. En el R2 su zona más crítica se encuentra en la parte final del brazo que une al cuerpo del retrovisor, el brazo es de aluminio y los valores colocados corresponden a este material. El P3 está diseñado como un solo cuerpo, y el material escogido fue la fibra de vidrio. Los valores del límite de fluencia y resistencia a la tracción son los que se toman en cuenta para compararlos con los valores más altos de tensión.

**Tabla 10.** Límite de Fluencia y Resistencia a la Tracción para cada espejo retrovisor

		40 km/h	70 km/h	Límite. Fluyen.	Resistencia. Trac.
<b>R1</b>	<b>Aer.</b>	2,35+0	7.21+0	3,24+2	4,69+2
	<b>Gir.</b>	3,01+2	2.43+2	3,20+3	2,50+3
	<b>Frn.</b>	2.92+2	3.12+2	3,24+2	4,69+2
	<b>Acel</b>	2.30+2	2.47+2	3,24+2	4,69+2
<b>R2</b>	<b>Aer.</b>	1.50+0	4.60+0	3,24+2	4,69+2
	<b>Gir.</b>	3.14+2	2.53+2	3,24+2	4,69+2
	<b>Frn</b>	1.47+2	1.57+2	3,24+2	4,69+2
	<b>Acel</b>	1.38+2	1.45+2	3,24+2	4,69+2
<b>P3</b>	<b>Aer.</b>	1.43-1	4.40-1	3,20+3	2,50+3
	<b>Gir.</b>	1.73+1	1.39+1	3,20+3	2,50+3
	<b>Frn</b>	1.78+1	1.90+1	3,20+3	2,50+3
	<b>Acel</b>	1.40+1	1.50+1	3,20+3	2,50+3

Fuente: (Autores, 2022)

Se determinó que ninguno de los 3 modelos sobrepasa el límite de fluencia ni la resistencia a la tracción en todas las simulaciones de los casos de carga, es decir que ninguna estructura tendrá una deformación permanente ni llegara al punto de rotura, a pesar de ello los valores máximos del P3 son sumamente más bajos que del R1 y R2. Considerando que aun el valor máximo de tensión Von Mises en el caso de carga de frenado a 70 km/h del P3 tiene un rango de 3,18E+03 (MPa) para que la estructura sobrepase el límite elástico y 2,48E+03 (MPa) para que la estructura se fracture.

## Conclusión

El uso de los espejos retrovisores se ha visto implicado desfavorablemente por varios factores físicos, mediante encuestas realizadas, el 76,6 % de conductores mencionan que a mediano plazo los retrovisores pierden efectividad en la sujeción. Actualmente existen simulaciones CAE, que permiten

sustancialmente probar diseños con distintos materiales previo a la fabricación. El retrovisor propuesto es más eficiente frente a las cargas aplicadas.

El R1 obtuvo los valores máximos de tensión de Von Mises en los casos de carga aerodinámica, frenado y aceleración alcanzando los  $3.1228e+02$  MPa, como el valor máximo de tensión. Este modelo posee un espejo auxiliar el cual sufre el mayor desplazamiento. El R2 obtuvo el valor máximo de tensión en la carga de giro con  $3.1401e+02$  MPa dado que esta fuerza lo empuja hacia la izquierda afectando la unión del brazo y la carcasa del retrovisor, este valor fue el máximo obtenido en todas las pruebas a 40 km/h sobrepasando los 300 MPa. Los valores máximos de Von Mises del P3 no sobrepasan los 20MPa siendo claramente los valores los más bajos de los tres diseños. El retrovisor propuesto en la presente investigación es 93% más eficiente que el R1 y R2 realizando un promedio en los casos de carga.

Ningún retrovisor sobrepasa el límite de fluidez y resistencia a la tracción, es decir que no presentan una deformación permanente para llegar a la rotura. Aun el valor máximo de tensión Von Mises en la carga de frenado a 70 km/h el P3 tiene un rango de  $3,18E+03$  MPa para sobrepasar el límite elástico y  $2,48E+03$  MPa para fisurarse.

## Referencias

1. Agustín, C. P. (1992). Para ver y ser visto. *Seguridad Vial*, 37.
2. Benalcázar, W. (17 de 20 de 2017). *El Comercio.com*. Recuperado el 04 de 02 de 2022, de <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/transportistas-buses-control-exceso-velocidad.html>
3. Cepeda, J. (07 de Abril de 2006). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DEL AUTOBÚS FELINE PARA LA EMPRESA CARROCERA MIRAL BUSES*. Recuperado el 28 de Junio de 2021, de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/734>
4. CYMACO. (21 de 05 de 2021). *CYMACO*. Recuperado el 14 de 03 de 2022, de <https://www.cymaco.com.uy/blog/cual-es-el-lado-derecho-y-el-izquierdo-de-un-vehiculo-27>
5. David Velazquillo, R. R. (2013). *Diseño conceptual de un banco de pruebas para validación de carrocerías*. Recuperado el 16 de Junio de 2021, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5867/DISE%c>

Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas

---

- 3%91O%20Y%20CONSTRUCCI%c3%93N%20DE%20UN%20BANCO%20DE%20PRUEBAS%20PARA%20VALIDACION%20DE%20CARROCERIAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
6. Fomento, M. d. (2016). Instrucción de carreteras Norma 3.1-IC. En *Trazado* (págs. 1-231). Madrid.
  7. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2015). *Vehículos automotores, dispositivos para mantener o mejorar la visibilidad, requisitos*. Recuperado el 02 de Junio de 2021, de [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_1155.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_1155.pdf)
  8. Ivám Espinoza, E. P. (2020). *Determinación de factibilidad técnica y económica para la producción nacional de utillaje especial automotriz*. Recuperado el 16 de Junio de 2021
  9. Joselyn Simbaña, O. R. (02 de 06 de 2021). Encuesta a conductores profesionales de vehículos M3 categoría II. Recuperado el 02 de Junio de 2021
  10. Mario Altamirano, R. B. (2020). Bio Contabilidad y la cadena de valor global de las industrias manufactureras de carrocerías de autobuses de la provincia de Tungurahua (Ecuador). *Espacios*(3), 8. Recuperado el 10 de Junio de 2021
  11. Moreta, M. (02 de Agosto de 2015). *Revista líderes*. Recuperado el 06 de Junio de 2021, de <https://www.revistalideres.ec/lideres/empresas-carroceras-buses-certificacion-agencia.html>
  12. Norma Técnica Ecuatoriana. (09 de 2016). *INEN 2656*. Recuperado el 06 de Junio de 2021, de [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_2656-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2656-1.pdf)
  13. Normalización, Instituto Ecuatoriano de. (Febrero de 2009). *INEN 1323 VEHÍCULOS AUTOMOTORES CARROCERIAS DE BUSES*. Recuperado el 27 de Junio de 2021, de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte-inen-1323-1.pdf>
  14. Nova &, E. (2020). *Optimización en el proceso de fabricación por impresión 3d de la manija del elevador de vidrios*. Recuperado el 16 de Junio de 2021, de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4074/1/Ember%20Geovanny%20Zumba%20Novay.pdf>
  15. Osorio, J. (2016). Alianza ecuatoriano-china fabricará 1.200 buses. *El Telégrafo*. Recuperado el 12 de Junio de 2021
  16. Vladimir, E. B. (13 de Febrero de 2020). *Estudio del comportamiento de un corrector de camber y caster usando elementos finitos para su alineación en un vehículo con suspensión*

Estudio de las características aerodinámicas para diseñar espejos retrovisores de transporte masivo urbano de personas

---

*tipo MCPHERSON.* Recuperado el 15 de Junio de 2021, de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10222/2/04%20MAUT%20108%20TRA%20BAJO%20GRADO.pdf>