

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE DISPOSITIVOS TRASEROS DE PROTECCIÓN (PARAGOLPES) DE SEMIRREMOLQUES, FABRICADOS EN ALEACION DE ALUMINIO

Facundo P. Inzeo¹, Bruno E. García¹, Cristian P. Domínguez (tutor)¹, Neoren G. Franco (tutor)¹,
Patricio G. Arrien², Walter F. Giordano (director)¹⁻²

¹ Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional. Dirección: Colón 332, San Nicolás de los Arroyos, Buenos Aires, Argentina

² Tanques Fangio S.A. Ruta 32, Km. 2,2; Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

Resumen

El presente trabajo se centra en el estudio del comportamiento estructural de los dispositivos traseros de protección (paragolpes) de los tanques semirremolques pertenecientes a la categoría O4, diseñados por la empresa Tanques Fangio S.A. de la ciudad de Pergamino, con la cual, la UTN Facultad Regional San Nicolás presenta un convenio de cooperación mutua.

Este estudio es logrado mediante la utilización de las herramientas de software CAD/CAE y la aplicación de los requerimientos y métodos de ensayo de elementos de protección de vehículos, establecidos en la norma IRAM/AITA 10260:2015.

El objetivo del estudio radica fundamentalmente en la verificación de los requerimientos establecidos por la normativa citada y en propuestas de eventuales modificaciones.

Inicialmente se procedió a la interpretación de la normativa vigente, su aplicación en el diseño y la modelización 3D del mismo; luego se realizó la discretización (mallado) y aplicación de las condiciones de borde en los modelos; posteriormente mediante el análisis de elementos finitos (FEM), se obtuvieron los valores máximos de tensiones y deformaciones en los distintos modelos estáticos estudiados, registrándose los resultados y conclusiones más relevantes.

Conclusión

Con el trabajo presentado se han podido establecer parámetros de diseño adecuados asociados al modelo propuesto de dispositivo de protección trasera de vehículos por la empresa Fangio S.A; concretamente, se determinó que existían deficiencias en los valores del espesor del paragolpes y los radios de curvatura en zonas de concentración de tensiones. Posteriormente, basándose en el análisis previo, se modificaron y mejoraron estos parámetros, verificándose así un diseño satisfactorio de acuerdo a la norma citada.

Palabras Claves:

IRAM/AITA 10260, Aleación 6061, Semirremolques, CAD-CAE, FEM

Introducción

El diseño de vehículos de transporte, compleja actividad de carácter interdisciplinaria que exige formación y perfeccionamiento continuo para garantizar la competitividad de los modelos propuestos, presenta un subsistema sumamente crítico que atañe una gran responsabilidad del profesional a cargo: el conjunto de elementos y dispositivos de protección y seguridad del vehículo, categoría dentro de la cual se ubica el tópico del presente trabajo, el cual corresponde al dispositivo trasero de protección o, de un modo más informal, paragolpes del vehículo.

Uno de los desafíos de la empresa Fangio S.A. constituye la maximización de la relación funcionalidad/costo en sus componentes. Al respecto, el diseño y/o verificación de paragolpes para tanques semirremolques, si bien representa una tarea de menor envergadura que la asociada al diseño y/o verificación de otras partes o componentes más complejos, se incluye en el desafío planteado; al respecto, la finalidad radica en minimizar los costos asociados al material y su mecanizado/tratamiento logrando la funcionalidad necesitada (esto es, la reducción de daños ante colisiones al absorber, con su deformación plástica, parte de la energía cinética del vehículo y, con la restauración de su deformación elástica, tender a separar los vehículos implicados).

Partiendo de una base segura para el diseño del mismo, las empresas argentinas recurren a la norma IRAM/AITA 10260:2015, la cual define, en sus seis secciones, los requisitos y métodos de ensayo para dispositivos de protección trasera de vehículos de las categorías N2, N3, O3 Y O4 (de acuerdo a la Ley Nacional de Tránsito y Seguridad Vial N° 24.449). Se contó, además, como bibliografía general, con otras publicaciones asociadas. [1][2][3][4]

La estructura del presente desarrollo involucra una sección inicial en la cual se detalla lo establecido por la normativa citada, para comprender las decisiones del diseño y fundamentar cuestiones pertinentes. De esta forma, se detallará a continuación, lo relativo al diseño del paragolpes en el software CAD elegido (SolidWorks 2016) [5], añadiendo una sección propia a las consideraciones sobre el mallado. Posteriormente, se comenzará con el análisis de dicho diseño; este involucra las siguientes partes:

1. Definición de condiciones geométricas más desfavorables según análisis estático lineal
2. Análisis estático no lineal del diseño asociado a la condición más desfavorable

Seguidamente a esto, basándonos en los resultados obtenidos, se darán propuestas de modificaciones al diseño para dar cumplimiento con la normativa, de acuerdo a conocimientos teóricos de resistencia de materiales [6]. Finalmente, se darán las conclusiones generales del trabajo, agradecimientos y referencias pertinentes.

Requisitos y procedimientos normativos

Tal como se aseveró, lo referido a los requisitos del paragolpes y el procedimiento de ensayo del mismo se detalla en la norma explicitada; se nombrarán, a continuación, aquellas consideraciones específicamente relevantes. Las decisiones subsecuentes del modelo, con el enfoque general de analizarlo a la condición más crítica posible, se detallarán en la siguiente sección. La norma define tres clases de requisitos: generales, dimensionales y de resistencia.

En cuanto a sus medidas, citando a la norma, se establece una altura H del paragolpes mayor que 120 mm para las categorías N3, O3 y O4, con un ancho mayor o igual a 60 mm; los extremos laterales del dispositivo deben estar redondeados con un radio mayor o igual a 2,5 mm (figura 1). Su largo debe ser menor o igual al ancho de la carrocería o de la superestructura (en caso de ser menor, hasta 100 mm desde cada extremo).

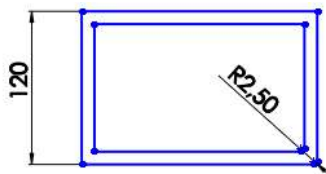


Fig. 1: Requerimientos geométricos de la sección transversal del paragolpes

Relativo a su resistencia, la norma establece que el paragolpes debe estar constituido por un material de resistencia a la tracción igual o mayor que 370 MPa y soportar las cargas que se establecen en la siguiente tabla:

Tabla 1: Fuerzas aplicadas y secuencia en función de la masa del vehículo

Masa total del vehículo (Kg)	Fuerzas aplicadas en P3 (N)	Fuerzas aplicadas en P2 (N)	Fuerzas aplicadas en P1 (N)	Secuencia de aplicación de las fuerzas
5000 – 7500	50000	75000	50000	P1, P3 y P2
7500 – 10000	60000	90000	60000	P1, P3 y P2
10000 – 24000	80000	120000	80000	P1, P3 y P2
>24000	100000	150000	100000	P1, P3 y P2

La deformación permanente máxima debe ser menor o igual a 200 mm en cualquiera de los puntos de aplicación de la carga. No debe verificarse, asimismo, la rotura del dispositivo.

Enfocándose en el método de ensayo, la normativa establece que las cargas deben aplicarse con cilindros con articulación, en forma paralela al eje medio longitudinal del vehículo, a través de una superficie de contacto menor o igual a 250 mm de alto por 200 mm de ancho, con un radio de curvatura de 5 ± 1 mm; el centro de cada superficie debe ubicarse en los puntos P1, P2 y P3 indicados en la figura 3, sobre la línea central en altura y según los siguientes requisitos:

- Los puntos P1 se deben ubicar a una distancia de 300 ± 25 mm de los extremos laterales de la carrocería
- Los puntos P2 se deben ubicar a una distancia, entre sí, de 700 mm a 1000 mm y simétricos respecto a un plano longitudinal de simetría del vehículo; coinciden, sobre una vertical, con el eje medio de los parantes del paragolpes
- El punto P3 debe ubicarse al centro de la línea central en altura

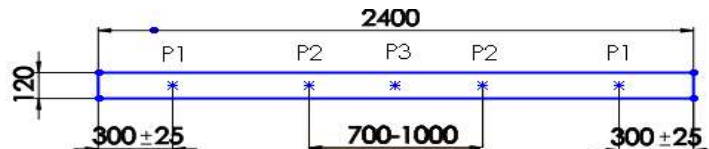


Fig. 2: Ubicación de los centros de las áreas de aplicación de las cargas

Diseño geométrico del modelo

Nombrados los requisitos normativos relevantes, se procedió a definir y a modelizar las distintas partes de la estructura del dispositivo de protección, y a ensamblarlas según las restricciones adecuadas a la práctica. Básicamente, la estructura consta del paragolpes propiamente dicho (barra hueca de sección rectangular), dos parantes o bases de paragolpes y dos bases de apoyo o escuadras

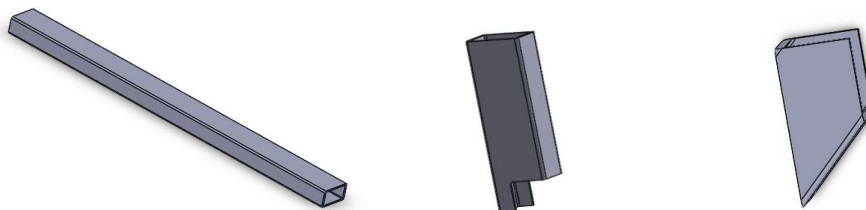


Fig. 3: Paragolpes (izquierda), parante (medio) y escuadra (derecha)

Relativo a sus medidas, se considera un ancho de la carrocería, y del paragolpes, de 2,4 m (basándonos en los modelos de la empresa Fangio S.A.) y, con respecto a la sección transversal, se considera una altura de 120 mm y un ancho de 210 mm y radios de redondeo externos de 10 mm e internos de 5 mm. Se propone, inicialmente, un espesor de 12 mm sobre los lados laterales.

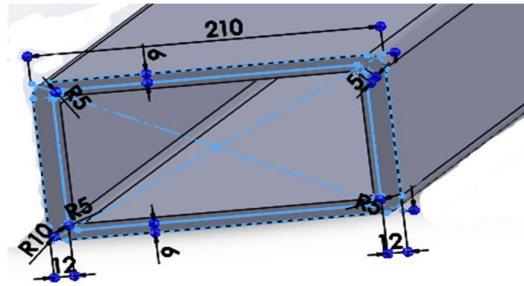


Fig. 4: Dimensiones propuestas de la sección transversal del paragolpes

Al respecto del material, se propone, en primera instancia, la utilización de aluminio 7075-T6 (Zicral), con una resistencia a la tracción de entre 510 a 538 MPa; debe destacarse que, dado el requerimiento de la empresa asociada al trabajo de disponer de un material más accesible, se propondrá posteriormente la utilización de aluminio 6061 (con resistencia a la tracción en torno a 240 MPa). En lo que respecta a las cargas de aplicación, se consideran las asociadas al mayor peso del vehículo.

En lo relativo a los puntos de aplicación, se proponen las siguientes variables, a los efectos de encontrar, en la primera sección del análisis, una vez evaluadas todas las alternativas, la condición geométrica más desfavorable:

1. Distancia entre ejes centrales de parantes (V1): 700 mm o 1000 mm (figura 5)
2. Distancia entre P3 y extremo lateral del paragolpes (V2): 225 mm o 275 mm (figura 5)

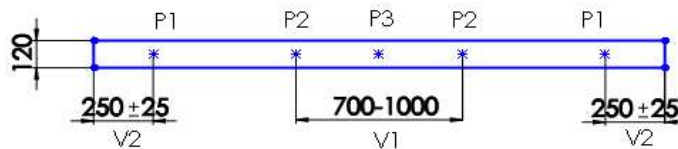


Fig. 5: Variables de diseño para la determinación de condición más desfavorable

Con respecto al punto 2 anterior, si bien la norma establece 300 ± 25 mm desde el extremo de la carrocería, dado que los modelos de la empresa Fangio S.A. involucran una distancia de 50 mm entre dicho extremo y el lateral de los paragolpes, los valores ahora deben ser de 250 ± 25 mm. De esta forma, de acuerdo a lo planteado, quedan definidas cuatro condiciones entre las que, en la primera parte del análisis, se determinará la más crítica, para luego proseguir con el mismo.

En referencia al área de aplicación de la carga, no se establece un valor mínimo de la misma, ni su forma; esto trae inconvenientes al objetivo de fijar la condición más desfavorable. Como primera instancia, se considera arbitrariamente un área rectangular de 50×50 mm; sin embargo, con el objetivo de coincidir con ensayos prácticos futuros, se propone luego de las modificaciones que se plantearán en secciones posteriores, un área de 100×100 mm.

De esta forma, con los datos señalados anteriormente, se procedió a modelar y a ensamblar el modelo 3D; se establecieron las condiciones de fijación (empotramiento en la parte superior) y la unión de las partes (unión rígida). Con respecto al mallado (discretización), se considera en la primera parte del análisis (ver estructura del trabajo en página 2), un mallado de carácter grueso, basado en curvatura, con elementos de lado mayor de 5mm y lado menor de 0,25 mm, sin control de malla.

Debe tenerse en cuenta que, debido a la necesidad de considerar la condición más desfavorable y afrontando las limitaciones del software CAD utilizado, las cargas se aplican separadamente, sin mantener la deformación plástica provocada por la carga previa. Se considera, al respecto, la hipótesis de superposición de efectos, considerando que, aunque alejada de la realidad, nos permite inferir deformaciones más grandes que las reales (estableciendo, así, un análisis conservador).

Los resultados de la primera parte del análisis, asociados a la evaluación de las cuatro posibles configuraciones geométricas, para determinar la más desfavorable, centrándonos en las variables tensión de Von Mises máxima y desplazamiento máximo, son los siguientes:

Tabla 2: Parámetros fundamentales de comparación de los cuatro diseños planteados

Caso	V1	V2	T. Von Mises máx	Con carga aplicada	Despl. máximo	Zona despl. máx.
1	1000 mm	275 mm	1339 Mpa	P2	18,34 mm	Extremo lateral inferior
2	1000 mm	225 mm	1339 Mpa	P2	19,64 mm	Extremo lateral inferior
3	700 mm	275 mm	1335 Mpa	P2	22,54 mm	Extremo lateral inferior
4	700 mm	225 mm	1335 Mpa	P2 </td <td>24,03 mm</td> <td>Extremo lateral inferior</td>	24,03 mm	Extremo lateral inferior

Se observa que la condición más desfavorable corresponde al cuarto caso. En consecuencia, y en función a este caso, se basa el análisis siguiente, asociado a la determinación del cumplimiento de la normativa. Debe destacarse que la tensión máxima se desarrolla debido a un efecto de concentración de tensiones en las zonas marcadas (se observan en la figura 6, asociada a un posterior análisis no lineal), mientras que, en la zona de aplicación de la carga, se verifica una tensión máxima con un valor promedio de 550 MPa aproximadamente, muy por encima del valor de resistencia a la tracción establecido por norma. Se verificará esto en un análisis no lineal.

En efecto, se efectuó un análisis en el período plástico sobre el diseño basado en la condición más desfavorable (cuarto caso), obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 3: Valores de los parámetros fundamentales del análisis no lineal

Tipo de análisis	No lineal
Tensión de Von Mises máxima	1320 MPa
Carga aplicada asociada a tensión máxima	P1
Desplazamiento máximo de punto de aplicación	20,52 mm (P3)

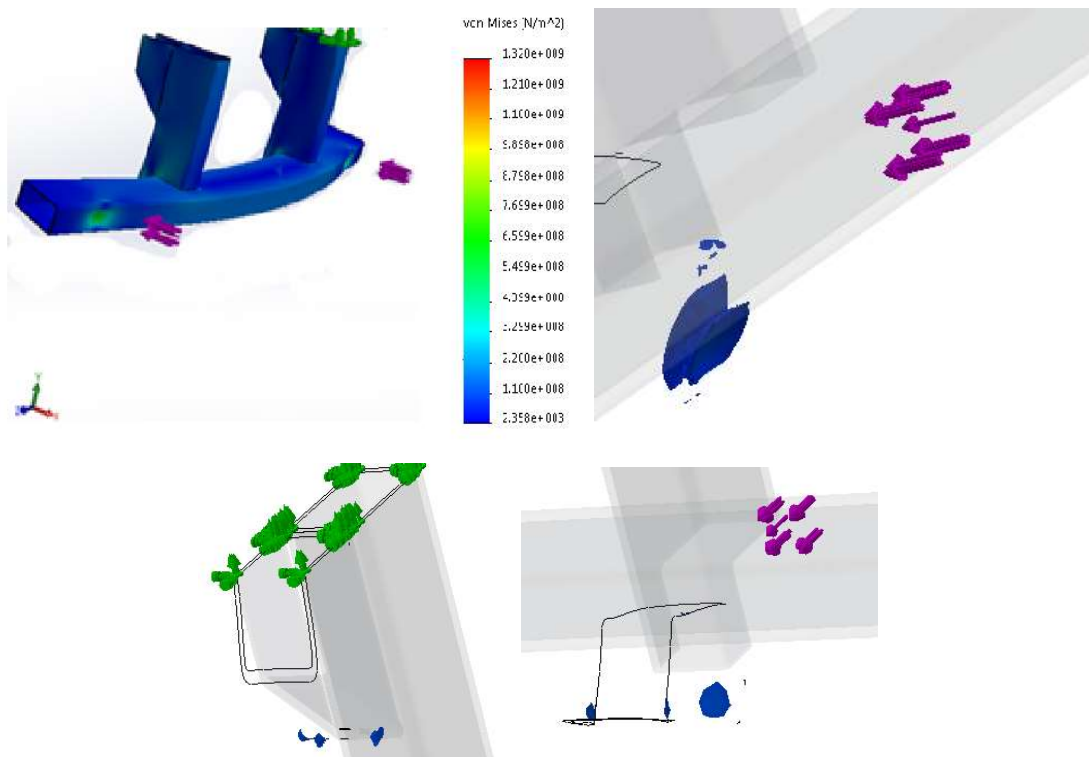


Fig. 6: Visualización del análisis no lineal correspondiente a las cargas P1 (superior izquierda) y zonas críticas 1 (superior derecha), 2 (inferior izquierda) y 3 (inferior derecha)

Se observa que los valores de tensión de Von Mises no son adecuados de acuerdo a lo establecido en la norma. La tensión de Von Mises máxima supera ampliamente el valor de 370 MPa establecido como mínimo, lo cual indica que se superaría ampliamente la tensión de rotura en el ensayo (casi 3,5 veces). Además, en la zona de aplicación de la carga, se verifican valores de 710 MPa. Por otra parte, se cumple con lo relativo al desplazamiento máximo permisible. En la figura 6, incluida previamente, puede observarse las zonas que verificarán rotura, categorizadas a continuación según su orden de importancia:

1. Zona 1: región de aplicación de las cargas; presenta valores en el orden de los 550 MPa para P1 y P3, y de 700 MPa para P2.
2. Zona 2: región de unión de parante y escuadra; presenta concentración de tensiones, con los máximos valores registrados (1320 MPa).
3. Zona 3: región de unión de paragolpes y parante; presenta concentración de tensiones, con valores máximos en el orden de 500 MPa.

Resulta evidente la rotura del dispositivo en las 3 zonas explicitadas. Ahora, a partir de diferentes y numerosos análisis comparativos en los cuales se variaron el espesor y los radios de curvatura, además de utilizarse el área de 100x100 mm propuesta previamente, se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Espesor del paragolpes: se verifica una importante disminución de la tensión general en la zona de aplicación de la carga, llegando a valores seguros por debajo de 190 MPa para espesores de 16 mm. Se propone, entonces, dicho espesor.
2. Concentración de tensiones en zonas 2 y 3: se verifica una notable disminución en las tensiones desarrolladas, con valores por debajo de 370 MPa al incluirse radios de curvatura de 8 mm en ambas zonas. Posibilidad de utilización de Aluminio 6061.

Conclusiones

El presente trabajo ha podido establecer valores satisfactorios de parámetros de diseño asociados al modelo propuesto de dispositivo de protección trasera de vehículos por la empresa Fangio S.A. Concretamente, con el objetivo de cumplir con lo establecido en la norma IRAM/AITA 10260:2015, mediante un análisis inicial de dichos parámetros se determinó que existían deficiencias en los valores correspondientes al espesor del paragolpes y a los radios de curvatura en zonas de concentración de tensiones. Basándose en dicho análisis, se realizaron modificaciones de diseño, verificándose una estructura satisfactoria de acuerdo a la norma citada.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración de la empresa Tanques Fangio S.A. de Pergamino (Buenos Aires), por los datos técnicos y modelos aportados; al Ing. Gerardo Franck del Aula FICH-CIMNE de Universidad Nacional Litoral de Santa Fe, por facilitar el uso de SolidWorks Simulation, quien cuenta con una licencia para su uso, y a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Tecnológica Nacional, por el soporte financiero al proyecto Código: TVUTNSN0004419 - Análisis de Fallas en Semirremolques Cisternas Construidos en Aleaciones de Aluminio.

Referencias

- [1] Norma IRAM/AITA 10260:2015
- [2] Especificaciones DOT: 49 CFR – EEUU: Apartado 178.345, Apartado 178.346, Apartado 178.347, Apartado 178.348
- [3] BPVC Section XII – Rules for Construction and Continued Service of Transport Tanks
- [4] MERCOSUR/GMC/RES. N° 23/2002 - Reglamento Técnico Mercosur Sobre Paragolpe Trasero de los Vehículos de Carga
- [5] Manual SolidWorks Simulation Designer, Professional, 2009.
- [6] Bedford A.-Fowler, W., Mecánica para ingeniería. Estática, Pearson Education, 2008.