

# Optimización topológica del brazo de suspensión inferior mediante elemento finito

*Topology optimization of lower connecting rod by finite element*

<sup>a</sup>Francisco Carrillo-Pereyra, <sup>b</sup>Rubén Darío Villalobos-López, <sup>c</sup>Manuel Alejandro Lira-Martínez, <sup>d</sup>Uzziel Caldiño-Herrera

<sup>a</sup>Doctor en ingeniería y ciencias aplicadas, francisco.carrillo@uacj.mx, Orcid 0000-0002-2829-4333, IIT-DMCU, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, México.

<sup>b</sup>Ingeniero en sistemas automotrices, al132559@uacj.mx, IIT-DMCU, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, México.

<sup>c</sup>Maestro en ingeniería aeronáutica con orientación en materiales, manuel.lira@uacj.mx, Orcid 0000-0002-9554-3192, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, México.

<sup>d</sup>Doctor en ingeniería y ciencias aplicadas, uzziel.caldino@uacj.mx, Orcid 0000-0002-4682-5548, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, México.

Recibido: Febrero 10 de 2019 Aceptado: Junio 15 de 2019.

Forma de citar: F. Carrillo-Pereyra, R.D. Villalobos-López, M.A. Lira-Martínez y U. Caldiño-Herrera, "Optimización topológica del brazo de suspensión inferior mediante elemento finito", MundoFesc, vol. 9, no. 18, pp. 47-52, 2019

## Resumen

---

En esta investigación, se realizó la optimización topológica (OT) del brazo de control inferior (BCI) Mcpherson tipo L, el objetivo de este estudio es reducir peso en el componente y mantener las propiedades mecánicas (esfuerzo, deformación y factor de seguridad). Como primer paso se realizó un análisis estructural por medio del método del elemento finito (MEF), con la finalidad de determinar las condiciones mecánicas a las cuales se encuentra el BCI al estar en servicio, para posteriormente aplicar OT parametrizada y reducir material, se utilizó el software ANSYS, tanto para el análisis del MEF Y OT.

**Palabras clave:** brazo de control inferior; método del elemento finito; optimización topológica.

## Abstract

---

In this research, the topological optimization (OT) of the lower control arm (BCI) Mcpherson type L was performed, the objective of this study is to reduce weight in the component and maintain the mechanical properties (strain, deformation and safety factor). As a first step, a structural analysis was carried out by means of the finite element method (MEF), in order to determine the mechanical conditions to which the BCI is in service, to subsequently apply parameterized OT and reduce material, it was used ANSYS software, both for the analysis of the MEF and OT.

**Keywords:** lower control arm; finite element method; topological optimization.

Autor para correspondencia:

\*Correo electrónico: francisco.carrillo@uacj.mx

## Introducción

La masa de un vehículo la constituyen dos secciones: masa suspendida y masa no suspendida. La masa no suspendida es aquella que se encuentra en contacto con el terreno, ruedas y sus componentes, ejes, sistema de frenos, mangueta, etc., mientras que la masa suspendida la constituyen todos aquellos elementos que no se encuentran en la masa no suspendida, como lo son motor, carrocería, chasis, ocupantes, etc.

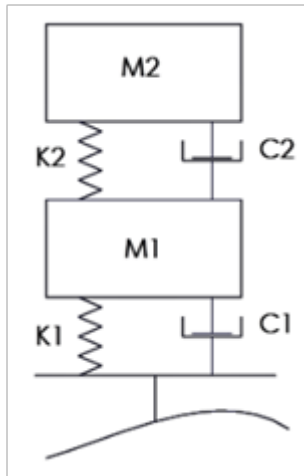


Fig. 1. Sistema de suspensión un cuarto de vehículo

La Fig. 1, muestra un sistema de suspensión de un cuarto de vehículo, donde M1 representa la masa no suspendida, M2 masa suspendida, K1 rigidez del neumático, K2 rigidez del sistema de suspensión, C1 coeficiente de amortiguamiento del neumático y C2 coeficiente de amortiguamiento de la suspensión, mientras que la línea curvada representa el terreno. El sistema de suspensión de un vehículo proporciona las características de buen desempeño y confort en conducción. Esto se consigue aislando el cuerpo del vehículo de las irregularidades del camino y de las aceleraciones producidas durante la conducción [1], el brazo de control inferior es un cuerpo metálico en forma de horquilla que sujeta la rueda al chasis del vehículo [2], une la masa no suspendida a la masa suspendida. El sistema de suspensión Wishbone contiene dos brazos de suspensión, superior e inferior, mientras que el sistema de suspensión Mcpherson solo contiene un brazo de suspensión inferior [3].

El alto consumo de combustible en los automóviles se debe en gran medida al peso de sus componentes, una manera de minimizar el uso de combustible fósil y generación de contaminantes a la atmósfera

es, reducir la masa de sus componentes, para esto es posible llevar a cabo diferentes métodos de optimización que generen autopartes más ligeras y de menor costo.

Este estudio se utiliza MEF AL BCI de un sistema Mcpherson, se analiza el BCI de un vehículo comercial ligero. Se modela utilizando el software de diseño CATIA y se utiliza el software de ANSYS Workbench para el análisis de MEF y el módulo de solución OPTISTRUCT se usa para generar el modelo optimizado. En el estudio se obtiene una reducción del 17.5%. [4] Realizaron OT al BCI, el elemento en estudio tiene forma de L, y el material considerado para este es aluminio, aplicando una carga en el centroide de la pieza, el análisis se efectúa en el software ANSYS, se obtuvieron como resultados un esfuerzo de Von-mises de 223.62 MPa en el análisis estructural mientras que después de realizar la optimización el esfuerzo tiene un valor de 240.59 MPa, considerando que estos valores aun se encuentran en la zona elástica del material, lograron una reducción de peso del 15.39 %, [5] analizaron un brazo de control Mcpherson, de material A7075, el estudio se realizó utilizando el software de CATIA para modelar y el software HYPERMESH, en esta investigación se obtiene una reducción del 25% de material y muestran como resultados que al aumentar la reducción de material decrece la vida útil del elemento, [6] en este trabajo se realiza OT al BCI, se utilizó el software CATIA para diseñar el brazo de control inferior. El software HYPERWORKS se utilizó para analizar la resistencia estructural y optimizar el peso de la pieza. El objetivo del nuevo diseño fue una reducción del 20% del peso de la pieza existente, fabricada con material de acero. Los resultados mostraron una reducción significativa del peso total hasta en un 25% con un ciclo de vida de fatiga de aproximadamente 396,000 ciclos.

## Materiales y métodos

Para el presente estudio se considera un BCI que pertenece a un vehículo Pontiac G6 modelo 2008, en la versión 4 cilindros, el vehículo cuenta con una suspensión McPherson “falsa” de tipo en forma “L”, el cual se muestra en la Fig. 2.



Fig. 2. BCI de estudio

Para modelar la pieza en estudio, se utilizó el software de diseño mecánico SOLIDWORKS, con el cual se obtuvo una geometría 1:1 en 3D, Fig. 3.

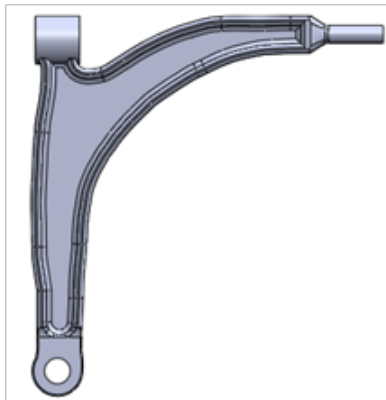


Fig.3. Modelo virtual

Una vez obtenido el modelo, se importó la geometría al software de diseño y simulación numérica Ansys, el material del cual se encuentra fabricada la pieza es aluminio 7075-T6, que es una de las aleaciones de aluminio utilizadas en la industria automotriz, se discretizó, obteniendo una malla de 123,469 nodos y 77,745 elementos, la cual se muestra en la Fig. 4.

Tabla I. Propiedades del aluminio 7075-T6.

Propiedades del material	Esfuerzo: Último (UTS)	Esfuerzo: fluencia	Densidad	Módulo de elasticidad o Módulo de Young	Coefficiente de Poisson
A7075-T6	600 MPa	503 MPa	3.0 g/cm <sup>3</sup>	71.5 GPa	0.33

Fuente: [7]

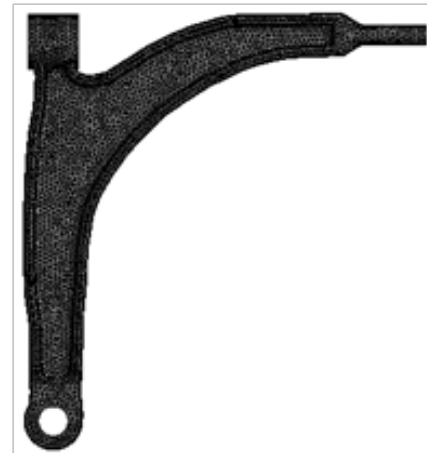


Fig.4. Discretización

### Condiciones de frontera

Para la obtención de las condiciones de frontera [8] se considera en los bujes flexibilidad en la torsión y la inclinación, así como el control de los desplazamientos axiales y radiales, para el centro de gravedad se consideró en [9].

Tabla II. Datos del vehículo

Masa del vehículo: 1460 kg.	Masa X Gravedad [G]= 14,322.6N
Masa eje delantero [Fd]: 895kg.	Eje delantero X Gravedad [GED] = 8,779.95N
Masa eje trasero [Ft]: 565kg.	Eje trasero X Gravedad [GET]= 5,542.65 N
Distancia entre ejes [L]: 2.8511m.	
Radio de rueda [Rrt, Rrd]: .325m.	

Para calcular el valor de la carga se planteó el caso de una curva, a una velocidad de 100 km/h, esto debido a que en este caso es donde el brazo de suspensión tiene un mayor esfuerzo debido a la carga que se ejerce sobre el mismo. Del radio de la curvatura [10].

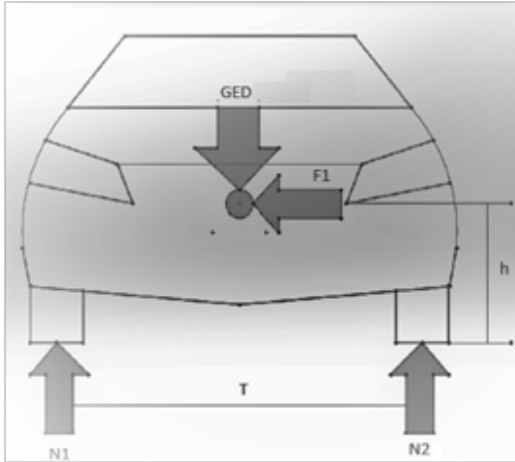


Fig. 5. Vista frontal del vehículo

GED es la porción de peso en el eje delantero, T es la longitud que existe entre el centro de las llantas frontales, F<sub>1</sub> es la fuerza inercial que trata de volcar al vehículo, N<sub>I</sub> y N<sub>D</sub> son las fuerzas de reacción a obtener del vehículo debido al peso y transferencia de masas.

Obtenida la fuerza que actúa, se analizó un cuarto de suspensión, como se muestra en la Fig. 6.

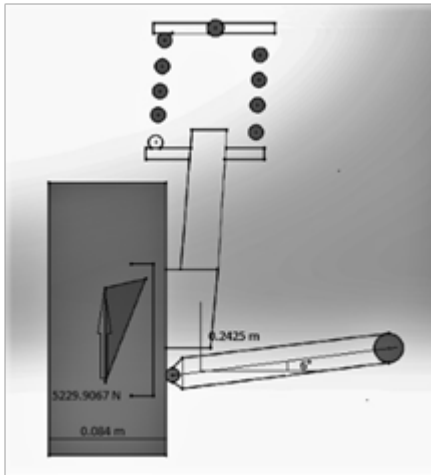


Fig. 6. Un cuarto de suspensión

$$\begin{aligned} \sum M R_z &= -5,229.9067N (.084m) + P_o (.2425m) = 0 \\ &-439.3121 + P_o (.2425m) = 0 \\ P_o &= 439.3121 / .2425 = 1,811.5965N \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \sum M P_o &= -5,229.9067N (.156m) + R_z (.2425) = 0 \\ &-815.8654 + R_z (.2425) = 0 \\ R_z &= 3,364.3935 N \end{aligned} \tag{2}$$

La fuerza que actúa en el brazo de suspensión tiene un valor de 3,364.3935 N. Una vez determinadas las condiciones de frontera se modelan en el software, Fig. 7.

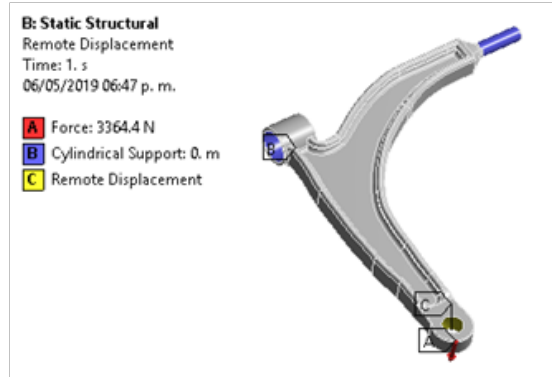


Fig. 7. Condiciones de frontera

### Optimización topológica

Para realizar la optimización topológica se elegirán las zonas donde se presenta la menor cantidad de esfuerzo y deformación, otro de los parámetros que se considerara es el factor de seguridad, el objetivo es mantener sus propiedades mecánicas, pero con menor masa del elemento.

### 3. Resultados y discusión

A continuación, se muestran los resultados del análisis estructural.

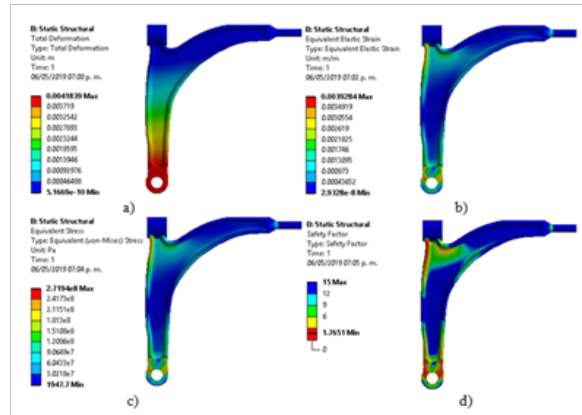


Fig. 8. Resultados del análisis estructural, a) deformación total, b) deformación de Von-Mises, c) esfuerzo de Von-Mises, d) factor de seguridad.

La Fig. 8. en a), muestra el resultado de la deformación total, en esta se observa como en la zona de la rótula se presenta una mayor deformación, ya que aquí es donde se está aplicando la carga mientras que en los bujes se presenta una menor deformación, en la figura b), se presentan mayores deformaciones nuevamente en la zona de la rótula del elemento, pero también en el borde cerca del buje delantero,

debido a una concentración de esfuerzos, el esfuerzo de Von-Mises se muestra en la figura c), el cual presenta un comportamiento similar a la figura b), las mayores deformaciones se presentan en la zona de la rótula, así como también en el buje delantero, se observan valores de esfuerzo en los bordes, mientras que en la figura d), se observa el valor del factor de seguridad, el cual es menor en la zona de la rótula y el buje trasero.

Después de haber obtenido los resultados del análisis estructural, se eligió la zona para aligerar el elemento, se tomaron las áreas donde el esfuerzo y deformación de Von-Mises es menor. Los parámetros propuestos se diseñaron en el mismo software que se modeló el brazo de suspensión (SolidWorks), estos parámetros constan de dos figuras triangulares, se muestran estos en la Fig. 9.

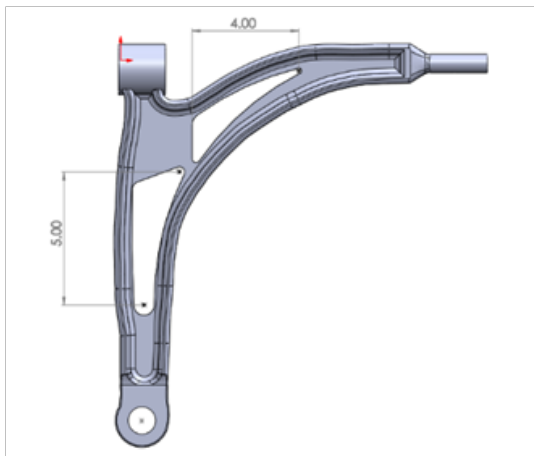


Fig. 9. Parámetros

De acuerdo con la figura, se buscó parametrizar de la siguiente manera, para la figura triangular formada en la parte superior, su parámetro es de 2 a 6 pulgadas de distancia, y para la figura diseñada en la parte inferior, su parámetro es de 1 a 7 pulgadas.

Después de realizar la optimización topológica, se obtuvieron tres candidatos, siendo el candidato número uno el de mejores resultados, el cual se muestra a continuación.

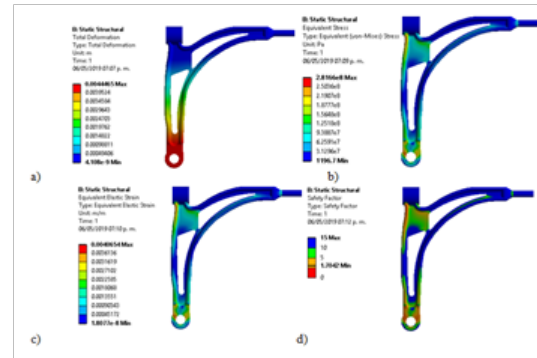


Fig. 10. Resultados optimización topológica, a) deformación total, b) deformación de Von-Mises, c) esfuerzo de Von-Mises, d) factor de seguridad.

Tabla III. Comparación de resultados

Aluminio 7075-t6	Factor de seguridad	Peso Total	Deformación total	Esfuerzo Von Mises
B r a z o original	15 1.7651	1.5831kg.	4.1839 mm 5.1669e-7 mm	271.94 Mpa 0.0019477Mpa
Max				
Min				
B r a z o optimizado	15 1.7042	1.4062kg.	4.448 mm 6.1462e-6 mm	281.6 Mpa 0.001196.7 Mpa
Max				
Min				

La tabla 3 muestra la comparación de resultados entre el BCI y el BCI optimizado puede observarse que aumentaron los valores de sus propiedades mecánicas como son la deformación total, la deformación de Von-Mises y el esfuerzo de Von-Mises, pero el factor de seguridad se mantiene, por lo tanto, no se afecta la funcionalidad del BCI optimizado.

**Conclusiones**

Se realizo un análisis utilizando el método del elemento finito y optimización topológica al brazo de control inferior Mcpherson tipo L, de los resultados del análisis estructural y la optimización topológica del brazo de control inferior, se obtuvo una reducción del 11.18 % de peso, sin cambios en el factor de seguridad. El esfuerzo de Von-Mises obtenido en ambos análisis es aceptable, en comparación al esfuerzo de fluencia que presenta este material, el cual tiene un valor de 480 Mpa, lo cual hace denotar que el BCI optimizado es capaz de soportar las fuerzas aplicadas.

## Referencias

- [1] J. Hurel, E. Terán, F. Flores, J. Peralta, B. Flores “Modelado físico y matemático del sistema de suspensión de un cuarto de vehículo”, presentado en el 15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Global Partnerships for Development and Engineering Education”, Boca Raton Fl., United States, pp. 19-21, July 2017.
- [2] P. B. Patil, M. V. Kharade, “Finite Element Analysis and Experimental Validation of Lower Control Arm”, *IJEDR*, vol 4, no. 3, pp. 1914-1922, June 2016.
- [3] G. Dhanu, R.S. Kattimani, “Comparasion study of lower control arm with different material”, *IJEDR*, vol. 3, no. 10, pp. 702-708, October 2016.
- [4] Kale AR, Tadamalle AP, Patil ND, “Analysis and Optimization of Lower Control Arm”, *EME*, vol. 1, no. 1, pp. 1-6, 2018, August 2018.
- [5] J. Marzbanrad, A. Hoseinpour, “Structural optimization of macpherson control arm under fatigue loading”, *Tehn. vjesn.*, vol. 24, no. 3 pp. 917-924, June 2017.
- [6] M.H.A. Rahman, M.S. Salleh, A. Abdullah, S.H. Yahaya, M.S.A. Razak, M.R.M. Kamal, Z. Marjom, L. Anuar, N.A.M. Saad, “A new design optimization of light weight front lower control arm” *JAMT*, vol. 12, no. 1, pp. 89-102, January - June 2018.
- [7] D. Yarishah y F.H. Mansoub, “Fatigue Life Prediction of Al 7075-T6 Notched Specimens with Circular Holes Using Several Multiaxial Fatigue Criteria”. *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 8, no. 36,, December, 2015.
- [8] S.S. Khode, A.N. Patil, A. B. Gaikwad, “Design Optimization of a Lower Control Arm of Suspension System in a LCV by using Topological Approach”, *IJRSET*, vol. 6, no. 6, pp. 11658-11665, June 2017.