

OPTIMIZACION DE CHASIS DE SEMIRREMOLQUE DE VUELCO TRASERO MEDIANTE EL USO DE ACEROS MICROALEADOS

Marcos Marino, Marcelo Costamagna y Carlos Tais

Departamento de Ingeniería Mecánica – UTN Facultad Regional Villa María
Avda Universidad 450, Villa María, Argentina- mmarino@frvm.utn.edu.ar.

RESUMEN

En este trabajo se propone rediseñar un chasis de semirremolque utilizado en el transporte de cargas por carreteras, cuya característica principal es la capacidad de transportar cargas a granel y descargar las mismas por su parte trasera, a partir de la elevación de la caja o batea, mediante un sistema hidráulico de la parte delantera de la misma.

Estos equipos son aptos para el transporte de granos, áridos, etc. siendo los mismos descargados en los lugares de uso. La capacidad máxima de carga a transportar depende de la configuración de ejes empleada, estando ésta reglamentada en la Ley Nacional de tránsito 24.449 y en el Decreto 32/2018.

En nuestro caso optamos por una configuración S1-D2-D1-D2 (camión tractor con un eje delantero ruedas simples y dos ejes traseros con ruedas dobles, remolque con dos ejes dobles traseros y un eje con ruedas dobles autodireccional), apto para transportar un Peso Bruto de 52,5 toneladas. El rediseño se realizará utilizando materiales microaleados Avanzados de Alta Resistencia (AHSS - Advanced High Strength Steel). La característica principal de este tipo de materiales es la de ofrecer un alto valor en la resistencia a la fluencia con límites elásticos superiores a los 550 MPa y tensiones de rotura superiores a los 700 MPa, valores muy superiores a los que tienen los aceros convencionales, lo cual permite disminuir las secciones resistentes y por ende el peso propio de la unidad, aumentando así la capacidad de carga neta a transportar.

Se realiza un análisis de tensiones y deformaciones en la estructura aplicando las condiciones de carga que permite la normativa actual, mediante la técnica del Método de Elementos Finitos con el objetivo de obtener una estructura confiable y resistente.

Palabras Clave: Transporte, Semirremolque, Aceros Microaleados, Capacidad de carga

1. INTRODUCCIÓN

La importancia que ha tomado el transporte de cargas por carreteras requirió grandes esfuerzos a las industrias del sector a fin de lograr equipos cada más eficientes, seguros y livianos con el propósito de transportar la mayor cantidad de carga útil en cada viaje y durante la circulación sin carga una reducción importante en el consumo de neumáticos y combustible. Es por ello que los fabricantes están incorporando en sus equipos piezas construidas en Aceros Avanzados de Alta Resistencia (AHSS). [1-4]

La característica principal de este tipo de material es la de ofrecer un alto valor en la resistencia a la fluencia, con límites elásticos superiores a los 550 MPa y tensiones de rotura superiores a los 700 MPa [5, 6], valores muy superiores a los que tienen los aceros convencionales, lo cual resulta en la posibilidad de disminuir las secciones resistentes y por ende el peso propio de la unidad. Otra de las ventajas radica en la disminución del esfuerzo y en la complejidad de la manipulación de las partes que deben ensamblarse en cada uno de los conjuntos y subconjuntos durante el proceso de fabricación. Este aspecto es importante ya que, si bien existen empresas con un alto grado de automatización en sus procesos, también existe una gran cantidad de ellas, en las que las tareas se realizan de modo manual o semi manual.

Es relevante mencionar que los cambios en las condiciones del proceso de producción que deben realizarse al incorporar estos materiales son mínimos debido a las buenas características de soldabilidad y conformación que estos aceros poseen, lo cual prácticamente no requiere la incorporación de tecnología adicional.

A lo expresado anteriormente deben sumarse las nuevas configuraciones de semirremolques que fueron habilitadas a partir del año 2018 por el Ministerio de Transporte de la Nación según el decreto 32/18 [7] que modifica el Decreto 779/1995 de la Ley Nacional de Tránsito 24449, lo que permitirá una importante reducción en el costo de cada tonelada transportada por carreteras de la República Argentina a partir del incremento del máximo peso bruto total autorizado (PBT).

La máxima carga neta o útil que se puede transportar dependerá de la configuración del equipo, cantidad de ejes y del peso propio del semirremolque. Por lo tanto, utilizando unidades con un menor peso propio (tara) se logra un transporte más eficiente.

Es en ese contexto en el cual se propone el uso de aceros microaleados AHSS para el diseño de un semirremolque tipo volcador trasero de uso muy difundido en la industria minera, cerealera y vial, entre otras.

La máxima capacidad de carga total de este equipo es de 52,5 toneladas, correspondiendo 18 toneladas en el tándem trasero de ejes, 10,5 toneladas en el eje direccional levadizo, 18 toneladas en el tándem trasero de ejes del camión y 6 toneladas en el eje simple del camión.

El objetivo de este trabajo es analizar la factibilidad de utilizar aceros AHSS para su construcción y determinar los esfuerzos y deformaciones en la estructura resultantes con la máxima capacidad de carga permitida.

2. METODOLOGÍA

El empleo de los aceros AHSS en la fabricación de equipos de transporte de carga ha sido estudiado anteriormente por los autores de este trabajo [8], en donde se analizó el comportamiento de este material para acoplados de 4 ejes, demostrando el ahorro que se produce mediante el uso de este material.

El equipo estudiado en el presente trabajo es un semirremolque de dos ejes en tándem más uno levadizo, y se utilizará en este caso el material denominado DOMEX 700 [9].

Se propone el estudio sobre un modelo simplificado de semirremolque de 9.00 m de largo, de dos ejes traseros y uno autodireccional elevable, estando éste separado 2.4 m del primer eje del tándem, y un perno rey ubicado en la zona delantera del remolque que permite su vínculo con el camión tractor. Este modelo se muestra en la Figura 1. La capacidad de carga bruta es de 52.5 tn e incluye la carga de servicio, peso propio de la estructura y el peso del resto de los elementos constituyentes del equipo (ejes, suspensión, etc).

En este modelo se incluyen los elementos estructurales de relevancia como las vigas principales y travesaños, considerando que los elementos no considerados como teleros y faldones le aportaran una rigidez adicional.

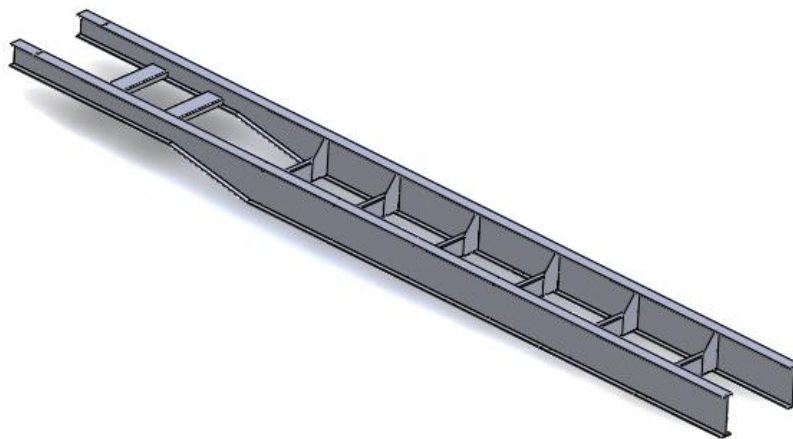


Figura 1: Modelo de chasis del semirremolque analizado

En el caso de las vigas principales se proponen espesores de 9 mm para las alas y de 5 mm para el alma en el caso del acero AHSS.

La transferencia de la carga transportada a la estructura resistente se efectuó considerando la batea de carga apoyada sobre las vigas principales.

En este estudio se plantea el predimensionamiento de la estructura considerando que el coeficiente de seguridad resultante en el caso de acero AHSS debe ser el mismo que el obtenido en el análisis presentado en [8] para el acero F36, teniendo en cuenta los diferentes valores de límites de fluencia de cada material. Para las hipótesis de carga planteadas, se considera que un coeficiente de seguridad aceptable es de 1.75 [10]. Bajo estas condiciones de trabajo se puede estimar la magnitud de reducción de volumen y su consecuente disminución en el peso propio de la estructura.

2.1. Modelo matemático

Para el estudio propuesto anteriormente se plantea un análisis estático lineal en donde se incluyen coeficientes de mayoración de carga para cumplir con la normativa específica vigente de diseño de este tipo de equipos [11].

La ecuación que describe el campo de desplazamientos u_i ($i = 1..3$) de un material isotrópico y homogéneo, sometido a fuerzas aplicadas en su superficie y despreciando fuerzas de volumen es [12]

$$\mu u_{i,kk} + (\lambda + \mu) u_{k,ki} = 0 \quad i, k = 1..3 \quad (1)$$

En la Ecuación (1) los parámetros λ y ν son las constantes de Lamé, propias para un material dado, que caracterizan la relación entre el tensor de tensiones σ_{ij} ($i, j = 1..3$) y el tensor de deformaciones ϵ_{ij} ($i, j = 1..3$).

La Ecuación (2) es lineal y permite obtener el campo de desplazamientos u_i ($i = 1..3$) del cuerpo. La definición del tensor de deformaciones en términos de desplazamientos es:

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i}) \quad i, j = 1..3 \quad (2)$$

De la relación constitutiva de cada material, el tensor de tensiones se calcula mediante:

$$\sigma_{ij} = 2\mu\epsilon_{ij} + \lambda e\delta_{ij} \quad i, j = 1..3 \quad (3)$$

Donde $e = \epsilon_{kk}$ ($k = 1..3$) es la traza del tensor de deformaciones,

Para analizar el estado tensional se utiliza el criterio de la máxima energía de distorsión [12].

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}} \quad (4)$$

donde σ_1 , σ_2 y σ_3 son las tensiones principales.

Se muestran en la Tabla 1 los valores máximos admisibles de esfuerzo que serán comparadas con los resultados de la simulación para determinar el coeficiente de seguridad de acuerdo a:

$$CS = \frac{\sigma_{fl}}{\sigma_{eq}} \quad (5)$$

donde σ_{fl} es el esfuerzo de fluencia del material y σ_{eq} es el esfuerzo equivalente calculado a partir de la teoría de la máxima energía de distorsión:

Tabla 1: Propiedades mecánicas de los materiales.

| Material | Densidad [kg/m ³] | Módulo elasticidad [MPa] | Coefficiente de Poisson | Límite de fluencia [MPa] | Tensión de rotura [MPa] |
|----------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| AHSS DOMEX 700 | 7800 | 200.10 ³ | 0.3 | 700 | 900 |
| F36 | 7850 | 200.10 ³ | 0.28 | 250 | 550 |

La carga aplicada considera sobrecargas debido a los efectos dinámicos, errores en la distribución de las mismas y situaciones de impacto debido al deterioro de las carreteras, estas se estiman en un 30% del valor de la carga neta a transportar [12]. Se ha tenido en cuenta además el peso propio de la estructura

Los vínculos aplicados a la estructura corresponden a los apoyos sobre las vigas del conjunto de los ejes y elásticos. En la Figura 2 se muestra la aplicación de las condiciones de borde y cargas al modelo.

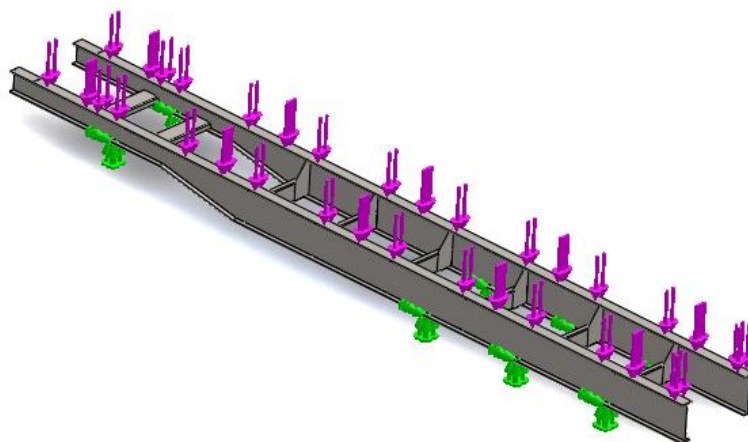


Figura 2: Condiciones de borde y cargas aplicadas

Las simulaciones se realizan utilizando software de cálculo comercial basado en el Método de Elementos Finitos SolidWorks Simulation, [13]. Los diferentes elementos estructurales han sido modelados utilizando elementos sólidos con seis grados de libertad por nodo. La malla generada se corresponde con la geometría a discretizar utilizando elementos cuadriláteros de segundo orden.

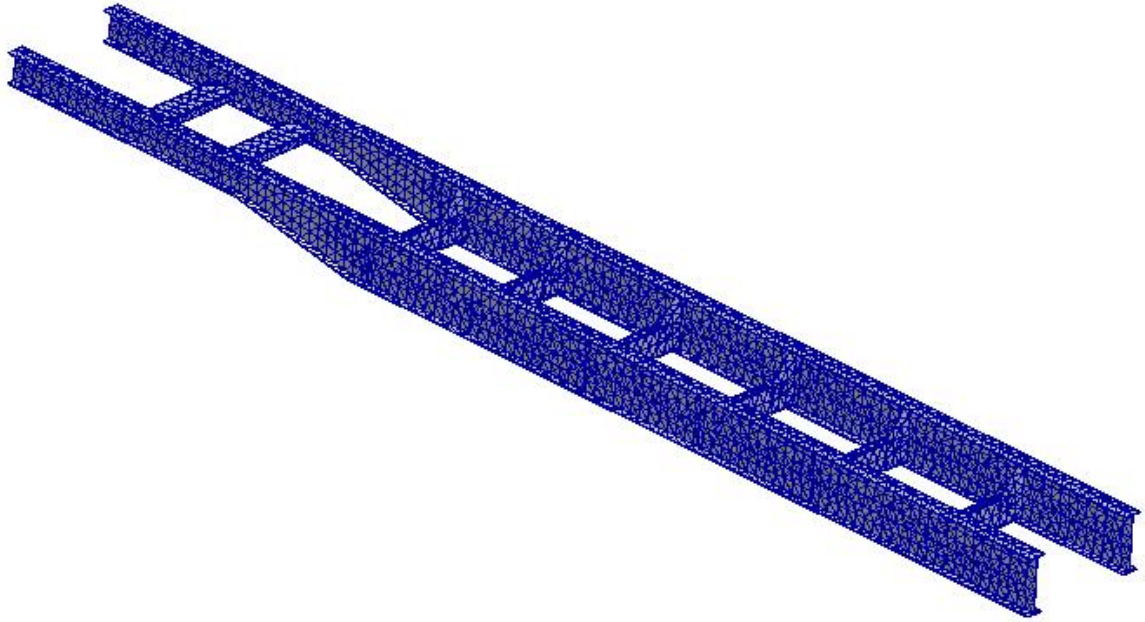


Figura 3: Discretización con elementos sólidos cuadriláteros

El modelo posee 18252 elementos y 38636 nodos. El análisis de convergencia (no incluido por razones de espacio) demuestra que con esta discretización los resultados obtenidos poseen una precisión adecuada.

3. RESULTADOS

Como puede observarse en la Figura 3, los esfuerzos en el chasis son inferiores a los 1381 Kgf/cm². Lo cual muestra que la estructura cumple satisfactoriamente con los requerimientos relacionados con las tensiones, considerando que el material utilizado posee una tensión de fluencia de 7138 Kgf/cm².

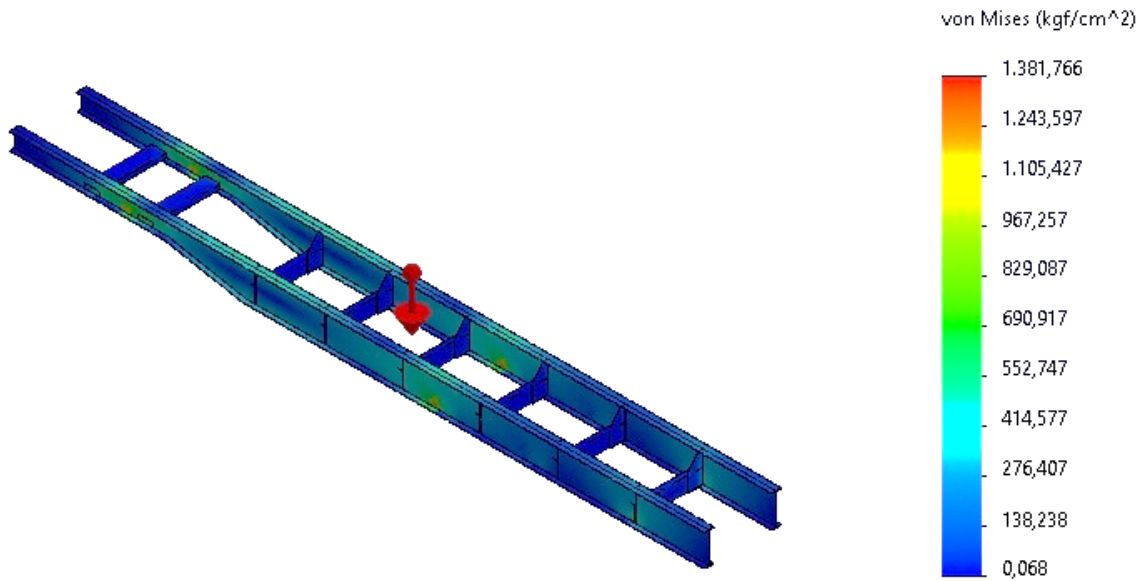


Figura 3: Distribución de tensiones en la estructura del chasis

En la Figura 4, se muestra el campo de deformaciones presente en la estructura para la carga máxima. Como puede apreciarse, los valores máximos alcanzan a 1,76 mm y se encuentran en la zona central de la estructura. Esta deformación se considera muy adecuada para la estructura del semirremolque.

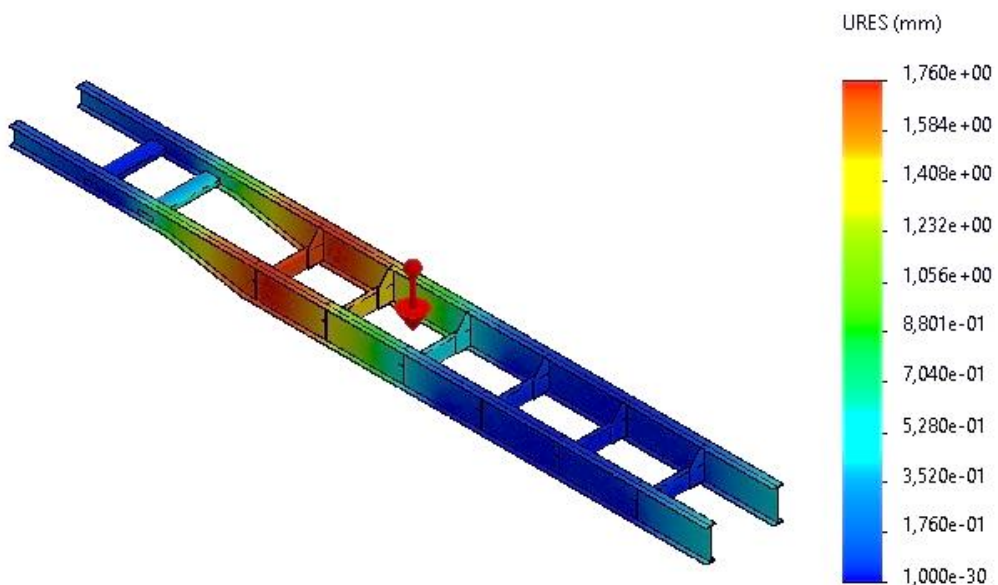


Figura 4: Deformaciones en el chasis de semirremolque (URES)

Dado que el requisito planteado era obtener un coeficiente de seguridad no menor a 1.75, se analiza en la Figura 5 el valor de este parámetro. Se muestra en la misma que su valor mínimo es de 3,9, muy superior al límite establecido.

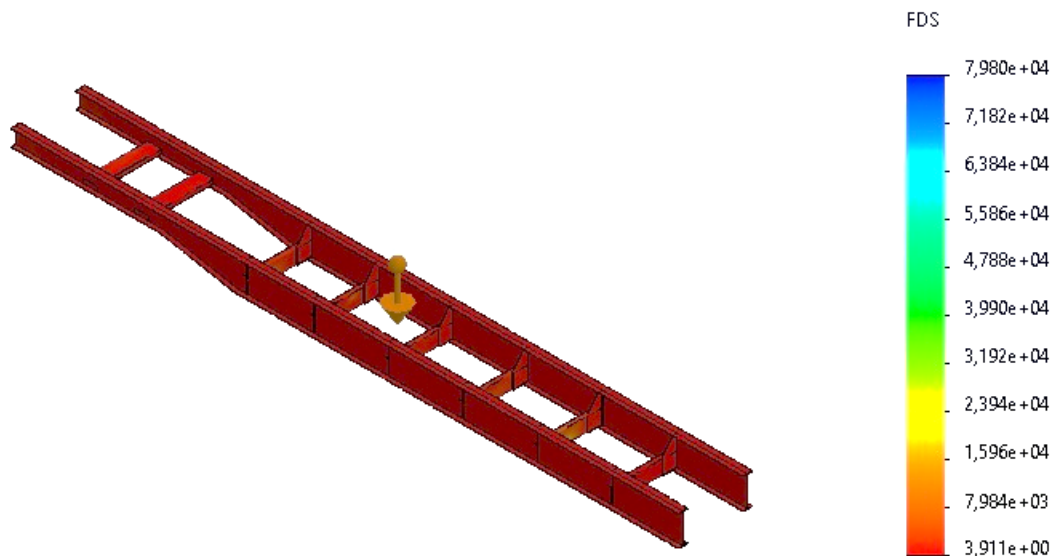


Figura 5: Coeficiente de Seguridad (FDS)

4. CONCLUSIONES

Mediante el análisis efectuado en el presente trabajo se concluye que la estructura cumple satisfactoriamente con las condiciones requeridas de tensión de trabajo y la deflexión vertical máxima cuando es sometida al estado de carga considerado. Si bien los esfuerzos cuando se utiliza un acero AHSS son considerablemente inferiores a el esfuerzo de fluencia de material F-36, las deformaciones son superiores a las que se obtienen con la construcción del equipo con material F-36 situación que se compensa con la deformación previa de la estructura (contraflecha), procedimiento usual en la fabricación de este tipo de estructuras. Esto demuestra que es factible el uso de este tipo de materiales en la fabricación de semirremolques.

La estructura fabricada con acero AHSS posee un peso propio de 715 kg, mientras que la construida en acero comercial F-36, tiene un peso de 1065 kg. Se puede concluir que si bien ambas estructuras cumplen satisfactoriamente las condiciones de carga impuestas, se logran reducciones superiores al 30% en el peso propio de la unidad cuando se usan aceros de alta resistencia. Esto se traduce de manera directa en un incremento de la carga útil a transportar con lo cual se logra una importante reducción del costo de tonelada transportada.

REFERENCIAS

- [1] Bouaziz, O., Zurob, H., and Huang, M., *Driving force and logic of development of advanced high strength steels for automotive applications*. Steel research international, 84(10), 937-947. 2013
- [2] Matlock, D. K., Speer, J. G., De Moor, E. and Gibbs, P. J., *Recent developments in advanced high strength sheet steels for automotive applications: an overview*. Jestech, 15(1), 1-12. 2012
- [3] Kwon, O., Lee, K. Y., Kim, G. S. and Chin, K. G., *New trends in advanced high strength steel developments for automotive application*. Materials Science Forum, 638, pp. 136-141. 2010.
- [4] Kuziak, R., Kawalla, R. and Waengler, S., *Advanced high strength steels for automotive industry*. Archives of civil and mechanical engineering, 8(2), 103-117. 2008
- [5] Frommeyer, G., and Brück, U., *Microstructures and Mechanical Properties of High-Strength Fe-Mn-Al-C Light-Weight TRIPLEX Steels*. Steel Research International, 77(9-10), 627-633. 2006
- [6] Yan, B., & Xu, K., *High strain rate behavior of advanced high strength steels for automotive applications*. Iron and Steelmaker, 30(6), 33-42. 2003
- [7] Ministerio de Transporte, *Ley Nacional de Tránsito 24449*. 1994.
- [8] Marino, M., Costamagna, M. and Tais, C. *Estudio de aceros microaleados de alta resistencia para su empleo en semirremolques*, Mecánica Computacional, XXX, págs. 91-97. 2011
- [9] DOMEX. *Catálogo DOMEX 700MC. Informe Técnico*, Society American Engineering, 2000.
- [10] Faires, V. M., *Diseño de Elementos de Máquinas* (4ta Edición), Montaner y Simon 1994
- [11] ASSHTO *Guide for Design of Pavement Structures*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. 1993
- [12] Boresi A. P., and Schmidt R. J., *Advanced Mechanics of Materials*. John Wiley and Sons, 5 Edición, 1993.
- [13] Dassault Systems. <https://www.3ds.com>, 2019.