

Diseño y análisis de un auto mini baja para estudiar y conocer el impacto de las volcaduras

Enrique Emiliano Pimentel Rocha¹, Francisco López Jaquez¹,
Juan Antonio López Rodríguez¹

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

Para la determinación del comportamiento estructural ante una posible volcadura de un auto mini-baja se requiere de una serie de pruebas en su mayoría de tipo destructivas. Este requerimiento hace que dicha evaluación resulte muy costosa y es un buen ejemplo y oportunidad para aplicar otras técnicas. El presente proyecto busca conocer el impacto que tienen las volcaduras en la estructura del auto mini baja durante una competencia mediante el diseño de un modelo virtual de una estructura diseñada de acuerdo a los lineamientos del SAE. Posteriormente realizarles pruebas de impacto frontal y caída sobre el techo para representar una volcadura; dichas pruebas se realizan mediante un análisis de elemento finito (FEA) a dichas estructuras, respectivamente. Con la finalidad de conocer el comportamiento del auto sin tener que realizar un choque real se utilizan las técnicas FEA. A pesar de ser uno de los estudios FEA más conocidos en la sociedad, no hay muchas fuentes de información que indiquen como realizar un estudio de choque de auto efectivo por lo que también fue un reto el poder diseñar un análisis que funcionara adecuadamente para el presente proyecto. Para poder validar que el auto diseñado verdaderamente podría utilizarse en una competencia de manera segura se han establecido algunos objetivos.

Palabras clave: Análisis no lineal, pruebas destructivas, auto mini baja, estructura

Introducción

En el año 1976 en la Universidad de Carolina del Norte, Estados Unidos, nace una competencia de diseño y construcción de prototipos todoterreno llamada Mini Baja SAE, la cual es realizada bajo normas y lineamientos dictados por la SAE. En su primera edición solamente compitieron diez equipos (uno de Canadá y el resto de EUA) y un total de noventa estudiantes. En los años posteriores la competencia sufrió importantes cambios en su reglamento, siendo uno de los más importantes que pasó de ser un único evento a dividirse en tres

eventos regionales, de características similares pero claramente diferentes: Baja SAE East (enfocada en el diseño y construcción de un prototipo capaz de escalar rocas), Baja SAE West (diseño y construcción de un prototipo anfíbio propulsado sólo por ruedas) y Baja SAE Midwest (diseño y construcción de un prototipo todoterreno) [1].

El formato actual de los eventos establece pruebas estáticas y dinámicas durante sus cuatro días de duración. La competencia

comienza con las pruebas estáticas donde se revisan los reportes de costo y diseño, y se realiza una defensa de las características del prototipo donde se evalúan aspectos como: ergonomía, funcionalidad y su producibilidad. Si el prototipo supera todas estas inspecciones podrá participar en las pruebas dinámicas. Estas varían de acuerdo a la sede del evento; sin embargo, las más comunes son: maniobrabilidad, suspensión y tracción, aceleración, sled pull (halado de peso muerto), chain pull (halado de cadena), hill climb (subida de pendiente), mud bug (trampa de barro) y el enduro.

También hay que mencionar que todos los equipos participantes en la competencia diseñan la estructura de su auto a partir de su imaginación y siempre basándose en las normas que establece la SAE respecto a dimensionamiento del auto. Podemos ver que el diseñar la estructura de un auto mini baja es algo que se lleva realizando por muchas personas ya por algunos años, pero lo que destaca aquí es que ellos no se preocupan tanto en realizarles pruebas destructivas sino más bien en verificar que el auto aguante para la competencia.

En éstas competencias es común el derrape de los vehículos debido a las condiciones de las pistas. En consecuencia, los vehículos chocan, tanto con otros vehículos como con objetos que se encuentran fuera de la pista, en diferentes partes y piezas de éste. Durante la competencia, los vehículos chocan, comúnmente, de manera lateral en la masa

soporte delantera, el cual es un componente mecánico que conecta el sistema rin-llanta con el sistema de suspensión. La energía asociada con los choques provoca fallas que generan deformación [2].

Un auto mini baja es un vehículo diseñado y construido por estudiantes para competir en carreras en las cuales simulan el mundo de la ingeniería real sobre todo en diseño automotriz. En dichas carreras los autos son sometidos a pruebas extremas de camino por lo que resulta muy común que sufran volcaduras durante la competencia. La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE, de sus siglas en inglés) es la organización quien realiza las competencias de este tipo de autos.

Las pruebas a las estructuras son llevadas a cabo mediante una técnica llamada análisis de elemento finitos (FEA, de sus siglas en inglés) que involucra el uso de computadora y un software, en el capítulo 2 se habla más acerca de este tema. La industria automotriz es un ejemplo de la aplicación de estos sistemas para la optimización del desempeño de vehículos, ya que con la introducción del FEA se ha ido reemplazando poco a poco las pruebas de colisión de vehículos, la Figura 1 [3] muestra un ejemplo de una prueba de colisión realizada por Instituto de Seguros para Pruebas de Seguridad en la Autopistas (IIHS, de sus siglas en inglés) en donde buscaban conocer si los autos compactos pasaban las pruebas de choque.



Figura 1 Auto Chevrolet Spark sometido a prueba de colisión

Los nuevos programas de simulación han permitido a los diseñadores reducir los costos al poder hacer una infinidad de pruebas a estructuras de los automóviles en una menor cantidad de tiempo, sin siquiera estrellar un solo vehículo, teniendo la certeza que el diseño es confiable y sobre todo,

salvaguarda la integridad de los consumidores. La Figura 2 [4] muestra también una prueba a la estructura de un vehículo, pero en este caso, la prueba de choque se elaboró mediante el uso de un programa de computadora.



Figura 2 Análisis de colisión frontal a un vehículo Ford Crown Victoria

Otro aspecto a tener en cuenta es el diseño asistido por computadora (CAD, Computer Aided Design) y la ingeniería asistida por computadora (CAE, Computer Aided Engineering). CAD se ha utilizado por muchos años en la industria para poder ayudar a diseñar prototipos en computadora sin la necesidad de prototipos físicos y por su parte CAE es usado para realizar pruebas

en los diseños elaborados con ayuda del CAD. Dichas pruebas se hacen mediante el FEA que utiliza una técnica numérica llamada método de elementos finitos (FEM) que viene siendo un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física. Entendemos por análisis

estructural el proceso de determinar acciones, reacciones, deformaciones y esfuerzos que se producen en todas las secciones de un sistema estructural por medio de modelos.

De igual manera tenemos que a lo largo de la historia se han realizado modelos a escala ya sea de aviones, autos, barcos, etc. para poderles realizar pruebas de distintos tipos.

Para ello ya se han determinado lo que se conoce como leyes de similitud, las cuales deben respetarse para que un modelo a escala represente correctamente el comportamiento dinámico de su prototipo y se establezcan los respectivos factores de escala que forman la correspondencia entre las variables físicas del prototipo y el modelo.

Materiales

Debido a que el presente proyecto es completamente virtual y no requiere de materiales que pudieran utilizarse para fabricar algún modelo o realizar pruebas físicas, las únicas cosas que se consideran materiales necesarios para poder desarrollar

un proyecto de esta clase son una computadora, los programas computacionales Abaqus y SolidWorks y un ratón de computadora para poder manipular adecuadamente los programas ya mencionados.

Método

Como método para elaboración del presente proyecto se decidió establecer un método diseñado personalmente y no basarse en uno ya existente. La figura 3 muestra el diagrama de flujo seleccionado para la elaboración del proyecto que consiste en diseñar la estructura de un auto mini baja con base en diseños existentes e ideas propias. Se realizará un estudio a los materiales para el poder seleccionar el más adecuado para usar en el proyecto, después se seleccionarán las

dimensiones para el modelo a escala y se diseñará una estructura en base a las especificaciones del reglamento SAE. También se realizarán simulaciones no lineales de elemento finito en Abaqus al modelo virtual. Se recopilará la información obtenida de las pruebas y en base a los resultados obtenidos se tomará la decisión si es necesario realizar modificaciones y repetir las pruebas y/ o publicar los resultados.

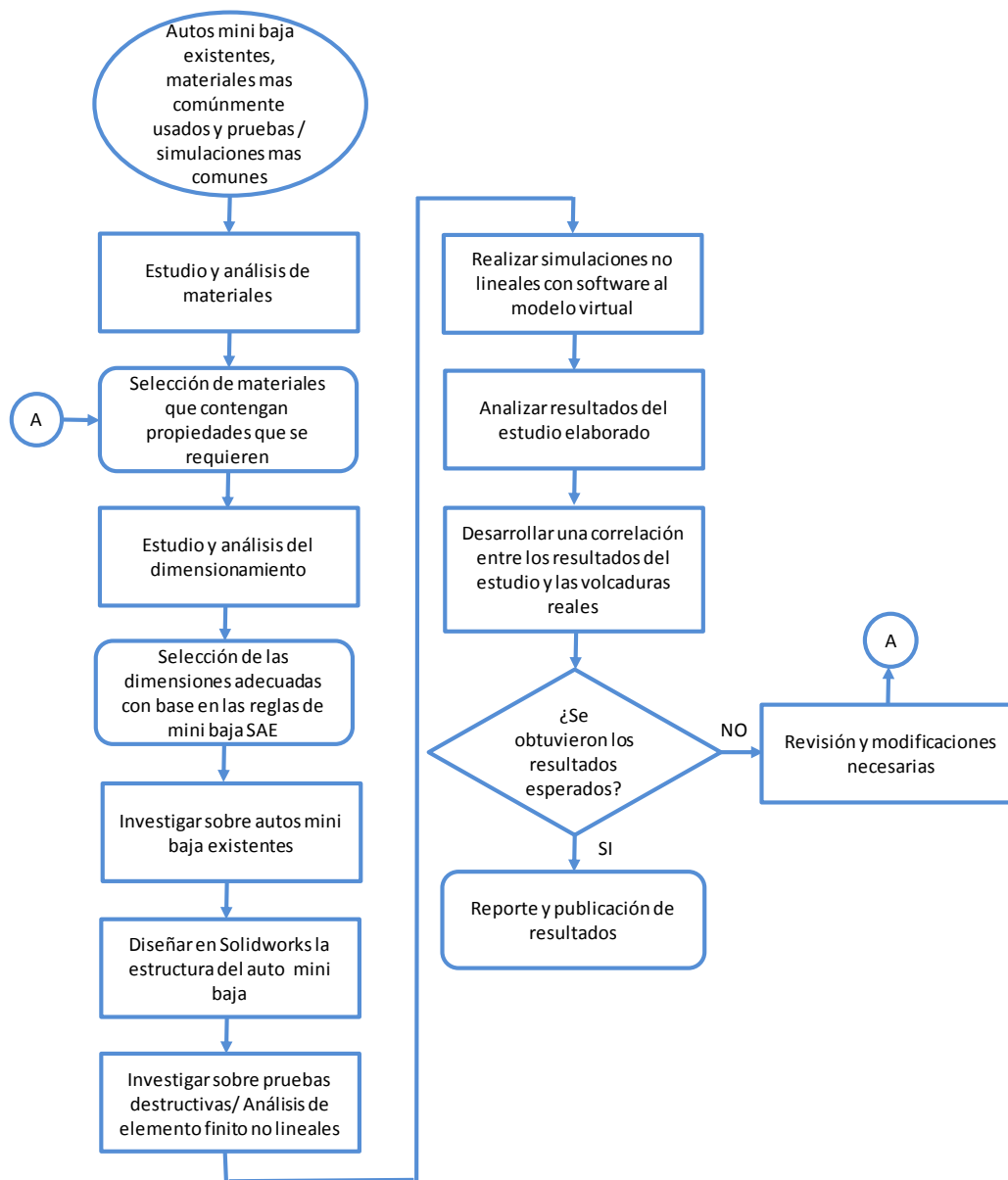


Figura 3 Diagrama de flujo del proyecto

Resultados

Debido a que se hizo el diseño de la estructura del auto mini baja de acuerdo al reglamento 2015 del SAE, se aseguró en todo momento que el diseño realizado en el

presente proyecto cumpliera con todas las reglas/ especificaciones de diseño. La figura 4 muestra dos vistas del diseño final de la estructura del auto mini baja.

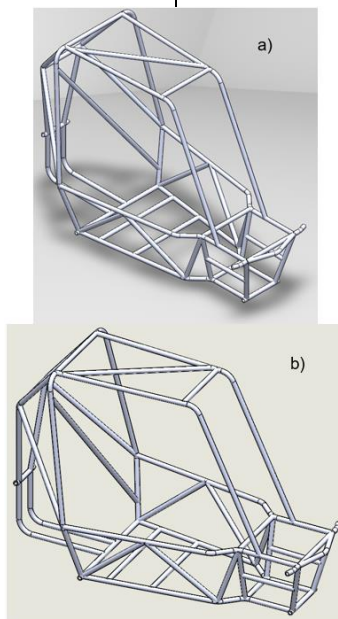


Figura 4 Isométrico a) y trimétrico b), de la estructura diseñada

Respecto a las pruebas de elemento finito elaboradas en el Abaqus los resultados obtenidos tanto para la prueba de impacto frontal como para la prueba del impacto sobre el techo se consideran satisfactorias ya que cumplen con los objetivos antes mencionados, es decir, los resultados arrojados por el programa Abaqus muestran que los esfuerzos de Von Mises son menores al punto de ruptura que tiene el Acero 4130 y la deformación generada debido a los impactos no se considera peligrosa para la

seguridad del conductor ya que es una deformación pequeña. La figura 5 consiste en la vista lateral izquierda de las simulaciones elaboradas para el impacto frontal y el impacto sobre el techo que se hizo con la finalidad de simular una volcadura. En esta figura se observa que efectivamente los esfuerzos de Von Mises no alcanzaron los puntos de ruptura marcados en rojo en la tabla de relación color-esfuerzo.

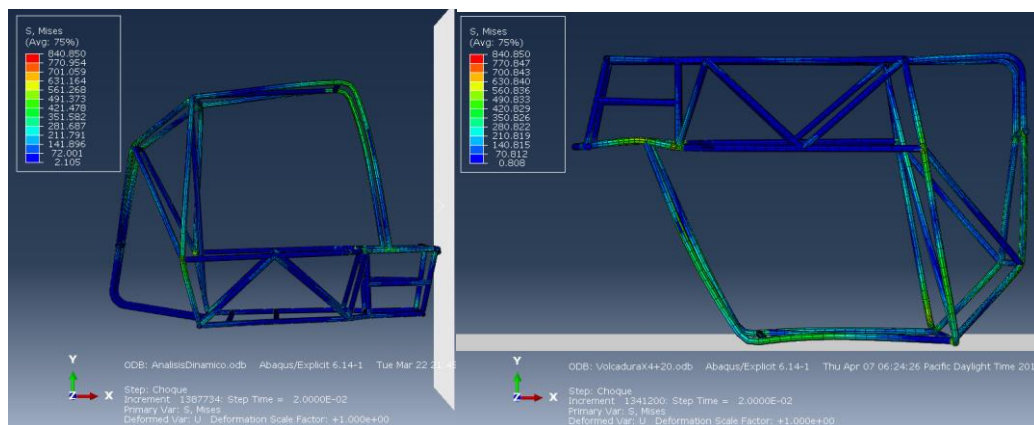


Figura 5 Vista lateral izquierda de ambas simulaciones

También se mostró que la fuerza de los impactos generada es mucho mayor a 10G y 7.9G pero aun así la estructura diseñada es capaz de resistir dichas fuerzas por lo que de igual manera se considera aceptable. La figura 6 muestra las fuerzas de impacto que

se alcanzaron en ambas simulaciones con una magnitud de 1,317,092 N para el impacto frontal y 379,174 N en el choque sobre el techo son menores a los valores de 13,848 N correspondiente a 10G y para 7.9 G se tiene una fuerza de 10,940 N.

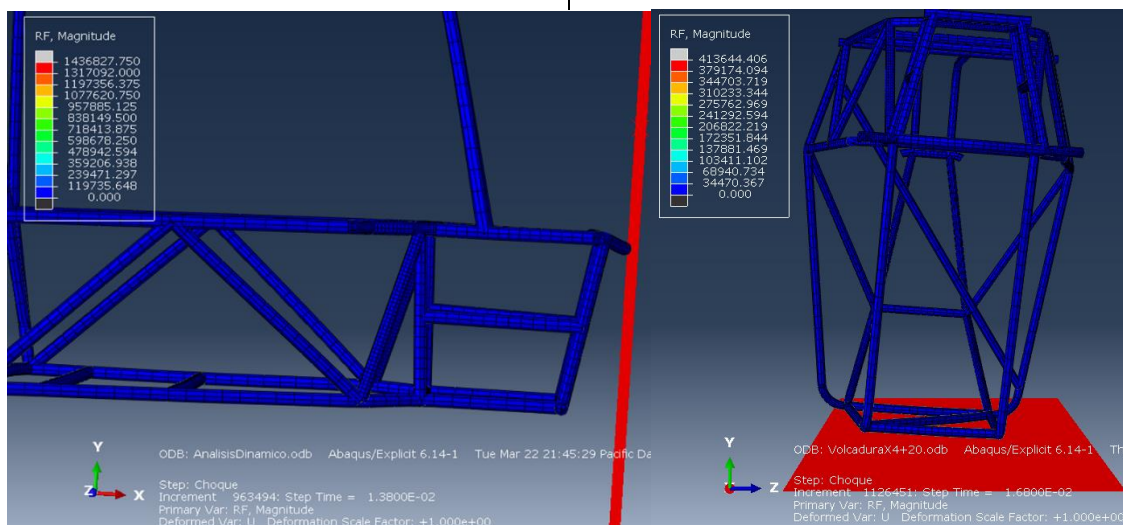


Figura 6 Fuerza de impacto en ambas simulaciones

Conclusiones

Debido al alto costo que implica la construcción de un carro mini baja, no se considera factible construir uno solamente para posteriormente destruirlo con la aplicación de pruebas destructivas. Para poder conocer el grado de afectación que sufre la estructura de un carro mini baja al pasar por un acontecimiento, tal como choques o volcaduras, se está proponiendo desarrollar un estudio que sea capaz de relacionar el grado de destrucción que sufre un carro mini baja en base a un estudio de elemento finito. El sistema será capaz de identificar y relacionar el estado de deformación y/o destrucción que sufre la estructura de un auto mini baja, resultante de una volcadura. Los objetivos del proyecto son el diseño de la estructura de un auto mini baja, la selección de sus dimensiones y el material, y que se cumpla con el reglamento estipulado por la SAE. El segundo objetivo es validar el diseño mediante los resultados de los esfuerzos y deformaciones en un análisis dinámico. Si los esfuerzos de Von Mises son menores al punto de ruptura del material y la deformación no se considera perjudicial para el conductor, de igual manera si la estructura soporta una fuerza de impacto de 10 G y 7.9 G, entonces se aceptará el modelo. Todo esto con la finalidad de conocer la magnitud de los impactos sufridos durante una volcadura. Con esto se formuló como hipótesis nula que tienen que cumplirse las reglas del SAE

(específicamente las relacionadas con el diseño de la estructura), los esfuerzos de Von Mises deben ser menores al punto de ruptura del acero 4130 y la deflexión sufrida en la estructura no debe afectar la seguridad del conductor.

Se concluyó que efectivamente se cumplieron con todos los objetivos propuestos para el presente proyecto. La estructura cumple con las especificaciones relacionadas a la estructura del auto que establece el reglamento del SAE 2015 para los autos que compiten en sus competencias mini baja SAE.

Y mediante los análisis realizados en el programa Abaqus se pudo conocer la magnitud de los impactos que sufren los autos mini baja durante una volcadura en una competencia y se pudo comprobar que la estructura diseñada es segura para poder el conductor ya que los esfuerzos Von Mises generados por los choques no son mayores al punto de ruptura y la deformación no pone en riesgo la seguridad del conductor, además de que la fuerza que es capaz de soportar es mucho mayor a la de un impacto de 10G o 7.9G.

Durante el desarrollo del proyecto se descubrieron ideas para mejorarlo, pero debido al tiempo y a la falta de conocimiento del programa Abaqus no se fue capaz de implementarlo; es por esto que se proponen estas ideas para proyectos futuros.

Referencias

U. C. A. Bello, "BAJA SAE UCAB," UCAB, [Online]. Available: [Www.Bajasaeucab.Com/Historia/Baja-Sae-La-Competencia](http://www.bajasaeucab.com/Historia/Baja-Sae-La-Competencia). [Accessed 5 Octubre 2015].

E. Monsalvo Barrera And J. Cortés Rico, "Propuesta De Diseño De Una Masa Soporte Carbono Para Un Vehículo Mini-Baja," Universidad Nacional Autónoma De México, Distrito Federal, 2012.

J. Castillo Martin, "Auto Plaza," 22 Enero 2014. [Online]. Available: [Http://Blog.Autoplaza.Com.Mx/2014/01/La-Iihs-Hizo-Pruebas-De-Colision-11.Html](http://Blog.Autoplaza.Com.Mx/2014/01/La-Iihs-Hizo-Pruebas-De-Colision-11.Html). [Accessed 10 Octubre 2015].

U. D. L. Americas, "Principios Del Método De Análisis Por Elementos Finitos Y Descripción De Algor Fea," Universidad De Las Americas, Distrito Federal.

J. Goicolea, "Estructuras Sometidas A Impacto," Universidad Politecnica Madrid, Madrid, 2000.

Epoch, Reglamento Formula Automovilística Universitaria, Riobamba, 2008.

I. E. D. Normalizacion, Norma Tecnica Ecuatoriana Nte Inen 1 323: 2009 - Vehiculos Automotores. Carrocerias De Buses. Requisitos, Quito, 2009.

A. Andrade And G. Jaramillo, "Diseño Y Construcción Del Chasis Para Un Vehículo Tipo Buggy De La Fórmula Automovilística Universitaria (Fau)," Escuela Superior

Politécnica De Chimborazo, Chimborazo, 2009.

B. Shahabi, "A Structural Investigation To Develop Guidelines For The Finite Element Analysis Of The Mini-Baja Vehicle," University Of Windsor, Windsor, 2012.

C. Bennett, E. Lockwood, A. McClinton, R. Mcree And C. Pemberton, "Analysis Of The Baja Frame," Northern Arizona University, Flagstaff, 2013.

N. Noorbhasha, "Computational Analysis For Improved Design Of An SAE BAJA Frame Structure," University Of Nevada, Las Vegas, Las Vegas, 2010.

A. P, "Sección 4. Análisis Y Evaluación," Biblioteca Universia, 2011.

Simulia, "Abaqus CAE," 3DS, 2015.

D. D. E. D. Edificios, "Proyecto De Estructuras De Hormigon," Universidad Politecnica De Madrid, Madrid, 2009.

Anonimo, "Wikipedia," Wikimedia, 13 Septiembre 2015. [Online]. Available: [Https://Es.Wikipedia.Org/Wiki/An%C3%A1lisis_Estructural](https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_Estructural). [Accessed 14 Octubre 2015].

J. Camba, F. Chacón And F. Pérez, "Análisis Estructural 1," Universidad Nacional Autonoma De Mexico, Distrito Federal, 2006.

M. Vargas, "Análisis De Armaduras Por El Método De Los Nodos," Blogspot, 3 Marzo 2013. [Online]. Available:

[Http://Metododelosnodos.Blogspot.Mx/](http://Metododelosnodos.Blogspot.Mx/).
[Accessed 10 Octubre 2015].

Solidworks, "Comprensión Del Análisis No Lineal," 2011.

R. Aguiar Falconi, "Calculo De La Matriz De Rigidez De Una Estructura Por Medio De La Matriz A," CEINCI-ESPE.

D. Systèmes, "Dassault Systèmes," 2016.
[Online]. Available:
[Http://Www.3ds.Com/Products-Services/Simulia/Products/Abaqus/Abaquscae/](http://Www.3ds.Com/Products-Services/Simulia/Products/Abaqus/Abaquscae/). [Accessed 15 Noviembre 2015].

R. Duncan, "Thin Dome Shells," [Online]. Available:
<https://Sites.Google.Com/Site/Thindomeshe/l/Computer-Software>. [Accessed 14 Octubre 2015].

M. Escribano Ródenas, "El Análisis Por Elementos Finitos: Una Metodología Muy Reciente En Economía," Universidad Complutense De Madrid, Madrid, 2006.

A. Rodríguez, "Albrodpulf1," 9 Marzo 2014.
[Online]. Available:
<https://Albrodpulf1.Wordpress.Com/2014/03/09/Analisis-Analisis-De-Elementos-Finitos-Fea/>. [Accessed 10 Octubre 2015].

A. Obispo, "Esfuerzos Mecanicos," Micro-Log, Madrid, 2005.

Anonimo, "Wikipedia," Wikimedia, 7 Mayo 2015. [Online]. Available:
https://Es.Wikipedia.Org/Wiki/Ingenier%C3%Ada_Estructural. [Accessed 10 Octubre 2015].

"Interempresas," Patran, [Online]. Available:
<https://Www.Interempresas.Net/Plastico/Ferriavirtual/Producto-Softwares-De-Analisis-De-Elementos-Finitos-Patran-88199.Html>. [Accessed 14 Octubre 2015].

J. S. Alan Geovany, L. Ceja Perez, E. Salcedo Alvarez And F. Villa Trejo, Diseño, Análisis Numérico Y Manufactura Del Chasis De Un Vehículo Minibaja Sae, Ciudad De Mexico: Esime, 2008.

J. Hastie, "Mini-Baja Vehicle Design Optimization," College Of Engineering. North-Eastern University, 2005.

SAE International, 2015 Collegiate Design Series: Baja SAE Rules, USA: Baja SAE, 2015.

Florida Institute Of Technology, Chassis, Melbourne: Florida Institute Of Technology, 2008.

Matweb, LLC, "Matweb: Material Property Data," [Online]. Available:
<http://Www.Matweb.Com/>. [Accessed 15 Febrero 2016].