

# Development of the structure of a BAJA type vehicle using CAE simulation tools

Cordero Guridi José de Jesús, MSc<sup>1</sup>, Cuautle Gutierrez Luis, Dr<sup>2</sup>, Hernández Guerrero Josué<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México, [josejesus.cordero@upaep.mx](mailto:josejesus.cordero@upaep.mx), [luis.cuautle@upaep.mx](mailto:luis.cuautle@upaep.mx), [josue.hernandez01@upaep.edu.mx](mailto:josue.hernandez01@upaep.edu.mx)

*Abstract— The development of the structure of a BAJA SAE type vehicle for the 2022 competition in Mexico is presented. Modeling based on regulatory parameters is described, the selection of materials and the final configuration is subsequently analyzed by CAE techniques, to guarantee the mechanical functionality of the structure. Results of torsional and bending stiffness, as well as frontal and lateral impact based on Von Mises failure criteria are reported in an acceptable way, as well as results of vibration modes of the structure. Additionally, the final manufacturing result of the structure is described, which was presented in the competition in Mexico in 2022.*

*Keywords—CAE, BAJA, Automotive, Analysis, FEA*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

# Desarrollo de la estructura de un vehículo tipo BAJA mediante herramientas de simulación CAE

Cordero Guridi José de Jesús, MSc<sup>1</sup>, Cuautle Gutierrez Luis, Dr<sup>2</sup>, Hernández Guerrero Josué<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México, [josejesus.cordero@upaep.mx](mailto:josejesus.cordero@upaep.mx), [luis.cuautle@upaep.mx](mailto:luis.cuautle@upaep.mx), [josue.hernandez01@upaep.edu.mx](mailto:josue.hernandez01@upaep.edu.mx)

**Abstract**— Se presenta el desarrollo de la estructura de un vehículo tipo BAJA SAE para la competencia 2022 en México. La modelación basada en parámetros de reglamento es descrita, la selección de materiales y la configuración final es posteriormente analizada por técnicas CAE, para garantizar la funcionalidad mecánica de la estructura. Resultados de rigidez por flexión, torsional, así como impacto frontal y lateral basados en criterios de falla de Von Mises se reportan de forma aceptable, así como resultados de modos de vibración de la estructura. Adicionalmente se describe el resultado final de fabricación de la estructura la cual fue presentada en la competencia en México en 2022.

**Keywords**—CAE, BAJA, Automotive, Analysis, FEA

## I. INTRODUCCIÓN

En la competencia BAJA SAE, el objetivo principal es el desarrollo de un vehículo todoterreno para la competencia anual interuniversitaria, en base a requerimientos específicos de ingeniería. Este vehículo consta de varios sistemas como suspensión, dirección, tren motriz y frenos los cuales se sostienen en la estructura del mismo. Esta estructura puede denominarse como el esqueleto de un vehículo, además de tener como finalidad sentar al conductor, proporcionando seguridad e incorporando otros subsistemas del vehículo [1]. La estructura del vehículo para la competencia BAJA SAE, debe ser lo suficientemente rígida para soportar todas las fuerzas y cargas que actúan sobre el vehículo de forma estática y dinámica y fuerzas como golpes, torsión y vibraciones [2].

Diversos autores han descrito las estrategias para la evaluación correcta de la estructura del vehículo y su manufactura en base a dichas actividades. En la referencia [3] describieron en su investigación la importancia de la selección de materiales y la sección transversal de los elementos estructurales de la estructura del vehículo BAJA SAE de la competencia 2017, reportando análisis de impacto frontales, laterales y traseros en su propuesta de diseño. En su propuesta de tesis, [4] describe el uso de herramientas de análisis como la rigidez por flexión y torsión y posteriormente el empleo de herramientas CAE, así como la descripción de la manufactura para la competencia 2015. De forma similar, [5] describieron en su investigación la evaluación de los impactos frontales, laterales, pero también de

volcadura, así como la fabricación y propuesta de estructura para la competencia de 2019. Finalmente, en la referencia [6] desarrollaron evaluaciones comparativas de impactos frontales, laterales y de análisis de vibraciones para diferentes materiales, buscando la mejor combinación en la comparativa.

## II. METODOLOGIA

El diseño de la estructura fue fuertemente influenciado por las reglas [7] establecidas por el organizador BAJA SAE MÉXICO, las cuales se actualizan cada año, implementando sistemas novedosos para garantizar un mejor funcionamiento, cumpliendo con los requerimientos de seguridad necesarios, representando nuevos retos y demostrando la capacidad para resolver problemas. Dentro del reglamento se observaron requerimientos específicos, tales como la geometría de la estructura, así como las características mínimas para la sección transversal. En las primeras etapas del diseño se utilizaron software de Diseño Asistido por Computadora, tales como: Solidworks 2022 y CATIA V5 2020, mientras que, para la evaluación estructural se utilizó ANSYS 2022.

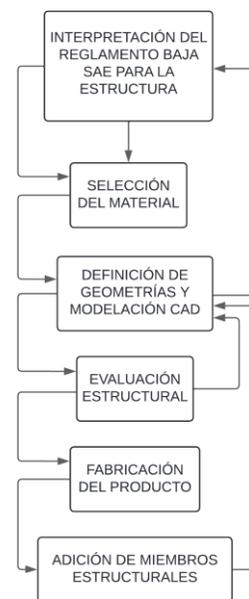


Fig. 1. Diagrama del flujo de evaluación de la estructura BAJA

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

Como se puede observar en la figura 1, se inició con la interpretación del reglamento, se identificaron todos y cada uno de los miembros solicitados obligatoriamente (primarios y secundarios) para cumplir con los requerimientos de seguridad y garantizar la seguridad del piloto. Además, se identificaron todas las restricciones con las cuales se trabajó a lo largo del proyecto. Una de ellas fue la selección de materiales, en la sección B3.2.16 y B.3.2.3 se encuentra información acerca de la restricción de materiales para miembros primarios y secundarios. Una vez que el reglamento fue interpretado y se conocía el tipo de material a usar, se definieron las geometrías en base a los requerimientos de cada subsistema, para posteriormente hacer la modelación CAD. Entre la definición de geometrías y la fabricación de la estructura, se encuentra una parte vital del proyecto: evaluación estructural.

Para conocer los puntos fuertes y débiles de la estructura y en un intento de conocer el comportamiento del mismo en competencia, se hizo una evaluación estructural con ayuda del software ANSYS. La investigación de fuerzas y puntos de aplicación jugó un papel importante en este punto para obtener una evaluación lo más cercana posible a la realidad.

Hasta este punto, después de evaluar la estructura y saber que soportaría las fuerzas y los esfuerzos causados por todos los subsistemas y las exigencias de pista, se procedió a la fabricación. Previamente se hicieron los planos de fabricación, que a diferencia de los planos de diseño buscaban cumplir con los requerimientos necesarios para medir con herramientas simples. Después, los tubos fueron marcados y cortados, para posteriormente realizar cortes seccionales y unir los miembros con soldadura MIG. Como último paso, cuando la estructura estuvo lista cada subsistema montó sus componentes y en base a sus diseños se realizaron modificaciones en la estructura agregando miembros secundarios que no se habían contemplado previamente, ocasionando una variación en el peso y en el diseño. Como se puede observar en la figura 1, antes de seguir con el proceso, los miembros adicionados en los subsistemas después de haber fabricado la estructura, fueron evaluados estructuralmente antes de soldarlos para evitar inconvenientes.

### III. DESARROLLO DE LA ESTRUCTURA

#### A. Selección de material

El material juega un papel muy importante en el diseño de la estructura ya que de él depende la resistencia, durabilidad y fiabilidad del vehículo, así como también la seguridad del piloto.

De acuerdo a los artículos B3.2.16, B.3.2.3, se necesitan dos secciones principalmente, para: miembros primarios y secundarios. Con un porcentaje mínimo del 0.18% de carbono. El diámetro exterior para miembros primarios debe ser de 25mm y un espesor mínimo de 3mm. Mientras que, los miembros secundarios deben tener un diámetro exterior de

25.4mm (1 in) y mínimo 0.89mm (0.035in) de espesor. En base a esto, se evaluaron distintos tipos de materiales, como se muestra en la tabla I.

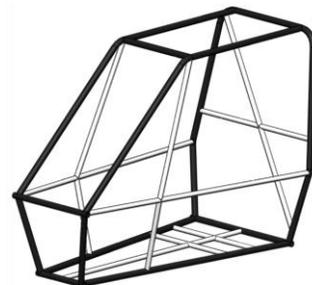
TABLA I  
PROPIEDADES DEL MATERIAL

Propiedades	Material	
	AISI 4130	AISI 1018
Carbón (%)	0.31-0.32	0.15-0.20
Ultimate Strength (psi)	114,283	63,800
Yield Strength (psi)	89,028	53,700
Costo (USD/ metro)	44.86	13.20
Densidad (lb/in <sup>3</sup> )	0.283	0.284

De acuerdo a las características mínimas requeridas, a la densidad y características estructurales se seleccionó el aisi 4130.

#### B. Definir geometría de la estructura

Después de seleccionar el material, como se puede observar en la figura 2 el reglamento propone 2 distribuciones distintas para la estructura



a) Roll Cage | Distribución delantera



b) Roll Cage | Distribución trasera

Fig. 2 Propuestas de Frame

En el reglamento, BAJA SAE propone dos tipos de estructuras: distribución delantera (Front Braced) como se observa en la figura 2(a) y distribución trasera (Rear Braced), mostrada en la figura 2(b). En la figura 2, se pueden apreciar los miembros primarios, cuyo manejo es de carácter obligatorio según la regla B3.2.2. Además, los miembros que se requieran para la implementación de otros sistemas y/o no se especifiquen en los miembros primarios, deben cumplir los requerimientos de la sección B.3.2.3. y B.3.2.4.

Los miembros secundarios y adicionales se propusieron en base a las necesidades de las demás áreas. Además, se trabajó en conjunto con dichas áreas esperando su retroalimentación para llegar al resultado final, garantizando el funcionamiento sin comprometer el peso y sin incumplir el reglamento. Después de haber realizado un análisis en base a las dimensiones y requerimientos de los demás sistemas, se seleccionó la distribución delantera, ya que brinda una mayor área de trabajo en la parte delantera que más adelante sería aprovechado por áreas como dirección y transmisión.

En la tabla II se describen los miembros primarios y secundarios que requiere el reglamento.

TABLA II  
MIEMBROS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS

PRIMARIOS	
RRH	Rear Roll Hoop
RHO	Roll Hoop Overhead Members
FBM	Front Bracing Members
ALC	Aft Lateral Cross Member
BLC	Overhead Lateral Cross Member
CLC	Upper Lateral Cross Member
DLC	SIM Lateral Cross Member
FLC	Front Lateral Cross Member
LFS	Lower Frame Side Members
SECUNDARIOS	
LDB	Lateral Diagonal Bracing
SIM	Side Impact Members
FAB	Fore/Aft Bracing Members
USM	Under Seat Member

RLC	Rear Lateral Cross Member
-----	---------------------------

Para iniciar con el diseño deben establecerse algunas pautas de acuerdo a la posición de los subsistemas como: transmisión, dirección, suspensión, el asiento, etc.

### C. Modelación CAD de la estructura

Una vez que las posiciones y dimensiones fueron determinadas, se hizo una primera iteración en el software de CATIA V5. El diseño inicial se evaluó en base a su centro de gravedad, peso y ergonomía. Se realizaron distintas iteraciones, las cuales se muestran en la figura 3.

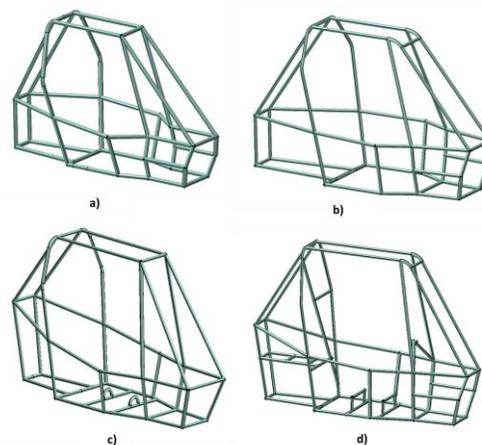


Fig. 3 Evolución de la propuesta de la estructura

El objetivo de cada iteración fue optimizar los recursos y el espacio, obteniendo un modelo final que se adaptara a las necesidades. En base a la retroalimentación de los sistemas, se obtuvo el diseño final, como se muestra en la figura 4.



Fig. 4 Modelo final de la estructura tipo BAJA 2022

Una vez obtenido el modelo final, se evaluaron propiedades físicas de la estructura y se obtuvieron los siguientes datos en el modelo digital, descritos en la tabla III.

TABLE III  
PROPIEDADES FINALES DE MIEMBROS ESTRUCTURALES

Miembros primarios	Perfil tubular	Diámetro Exterior = 1"
		Espesor= 0.118"
		Material: AISI 4130
Miembros secundarios	Perfil tubular	Diámetro Exterior = 1"
		Espesor= 0.039"
		Material: AISI 4130
	Perfil cuadrado	Dimensiones = 1 x 1"
		Espesor= 0.039"
		AISI 4130

Finalmente, se tienen los siguientes datos generales de la estructura del vehículo, descritos en la tabla IV.

TABLE IV  
PROPIEDADES GENERALES DE LA ESTRUCTURA

Largo	2.118m
Alto	1.3m
Ancho	0.666m
Masa total	47 kg

### III. EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA

La validación del diseño de la estructura considera 5 estudios a ejecutar en el software ANSYS:

- Rigidez por flexión
- Rigidez torsional
- Impacto Frontal
- Impacto Lateral

- Modos naturales de vibración

Para las distintas evaluaciones, se empleó un mallado con enfoque 1D, el cual estuvo conformado por perfiles tubulares de las dimensiones descritas por la tabla III. El mallado empleado se muestra en la figura 5 y sus propiedades se describen en la tabla V.

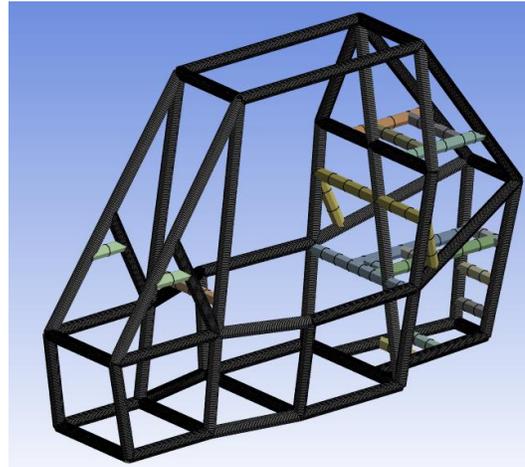


Fig. 5 Vista global de la malla 1D de la estructura

TABLE V  
PROPIEDADES GENERALES DEL MALLADO DE LA ESTRUCTURA

Tipo de elementos	1D
Cantidad de elementos	424
Calidad global de elementos (promedio)	1

#### A. Rigidez por flexión

En la figura 6 se puede observar las restricciones, así como las cargas empleadas para el análisis de rigidez por flexión y que son reportadas en la tabla VI sobre los miembros del vehículo: primarios y secundarios.

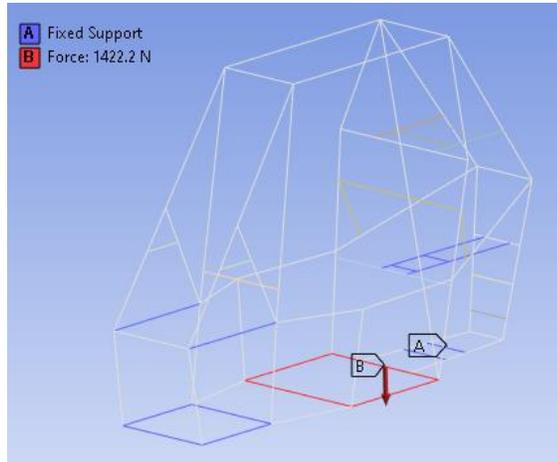


Fig. 6 Vista global del modelo, representando cargas ejercidas en el modelo para el estudio de dflexión

TABLA VI  
PESOS DE COMPONENTES EN EL VEHÍCULO

Concepto	Masa (kg)
Piloto	90
Reductora	29.2
Motor	25

En base a las masas reportadas, la fuerza aplicada para la evaluación por flexión fue de 4244 N utilizando un factor de seguridad de 3.

### B. Rigidez torsional

En la figura 7 se puede observar las restricciones aplicadas, así como las cargas empleadas para el análisis de rigidez torsional, considerando un peso total de vehículo con todos sus accesorios de 450 kg y que son reportadas en la tabla VII sobre los miembros del vehículo primarios y secundarios.

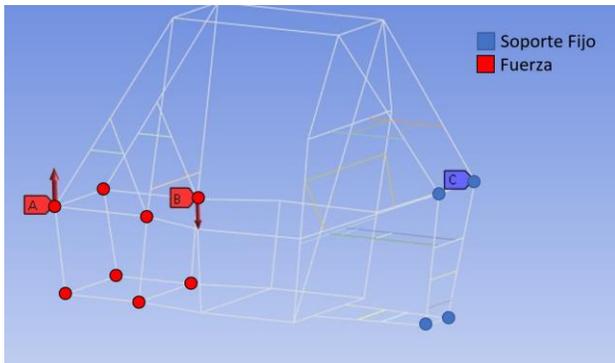


Fig. 7 Vista global del modelo, representando cargas ejercidas en el modelo para el estudio de rigidez torsional

TABLA VII  
CARGAS APLICADAS EN LA EVALUACIÓN POR RIGIDEZ TORSIONAL

Tipo de carga	Valor	Ubicación
Fuerza	1103.62 N	Lateral delantera
Fuerza	1103.62 N	Lateral delantera

### C. Impacto Frontal

El análisis de impacto frontal consiste en la aplicación de una fuerza en la parte delantera del vehículo, simulando un choque a su velocidad máxima la cual se obtiene en línea recta. En la figura 8 se pueden observar los miembros que están sometidos a esta fuerza y fijaciones.

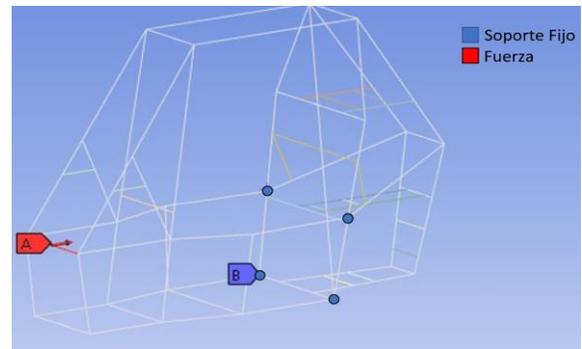


Fig. 8 Vista global del modelo, representando cargas ejercidas en el modelo para el estudio de impacto frontal.

Suponiendo que la velocidad máxima del vehículo en competencia es de 40 km/h y tiene una masa de 450 kg se calcula la desaceleración a la cual se somete durante un periodo de 0.5s, como se muestra en la ecuación (1).

$$Masa_{vehículo} = 450 \text{ kg}$$

$$V_{\max} = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 11.11 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t_{\text{desaceleración}} = 0.5 \text{ s}$$

desaceleración

$$a = \frac{v_f - v_0}{t}$$

$$a = \frac{0 - 11.11 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.5 \text{ s}} = -22.22 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{\text{impacto}} = m \cdot a$$

$$F_{\text{impacto}} = 450 \text{ kg} \left( 22.22 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 9999 \text{ N} \rightarrow F_{\text{impacto\_frontal}} \approx 10 \text{ kN}$$

$$F.S. = 3 \therefore F_{\text{impacto\_frontal}} \approx 30 \text{ kN}$$

(1)

La fuerza a la cual el vehículo se impacta se calculó como se observa en la ecuación (2).

$$Masa_{vehículo} = 450 \text{ kg}$$

$$V_{max} = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 11.11 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t_{desaceleración} = 0.5 \text{ s}$$

desaceleración

$$a = \frac{v_f - v_0}{t}$$

$$a = \frac{0 - 11.11 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.5 \text{ s}} = -22.22 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{impacto} = m \cdot a$$

$$F_{impacto} = 450 \text{ kg} \left( 22.22 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 9999 \text{ N} \rightarrow F_{impacto\_frontal} \approx 10 \text{ kN}$$

$$F.S. = 3 \therefore F_{impacto\_frontal} \approx 30 \text{ kN} \quad (2)$$

En base al resultado obtenido, considerando un factor de seguridad de 3 se obtuvo una fuerza de impacto frontal de 30 kN, a la cual se le dará un factor de seguridad de 3 en el análisis de impacto frontal, trasero y lateral.

TABLA VIII  
CARGAS APLICADAS EN LA EVALUACION POR IMPACTO  
FRONTAL

Tipo de carga	Valor	Ubicación
Fuerza	30,000 N	Frontal

### C. Impacto lateral

El análisis de impacto lateral consiste en la aplicación de una fuerza distribuida en los miembros laterales del vehículo establecidos en la tabla VIII, empleando una fuerza proporcional al peso total, en este caso de 450kg. Como se observa en la figura 9.

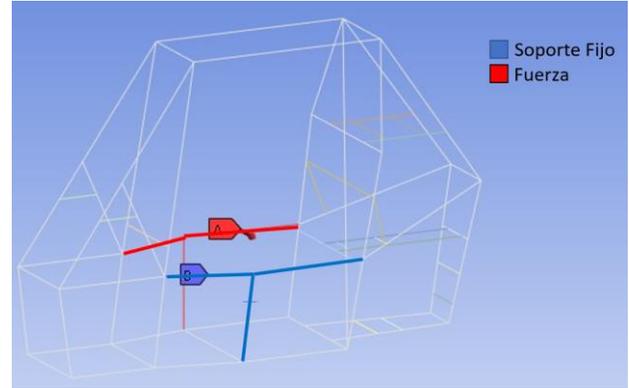


Fig. 9 Impacto Lateral

### C. Análisis modal

Este análisis fue realizado para calcular los primeros 6 modos naturales de vibración, con la finalidad de evaluar el comportamiento de los miembros que conforman al vehículo e identificar las frecuencias que pondrían en resonancia a la estructura. Se aplicaron restricciones de posición en diversos puntos de la estructura, como se observa en la figura 10.

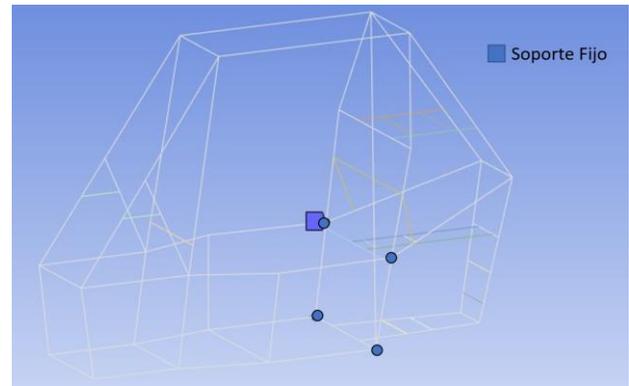


Fig. 10 Restricciones para Modos Naturales de Vibración.

## IV. RESULTADOS DE SIMULACIONES

### A. Rigidez por flexión

La flexión causada por los elementos principales montados en la estructura del vehículo, incluyendo al piloto se muestra en la figura 11.

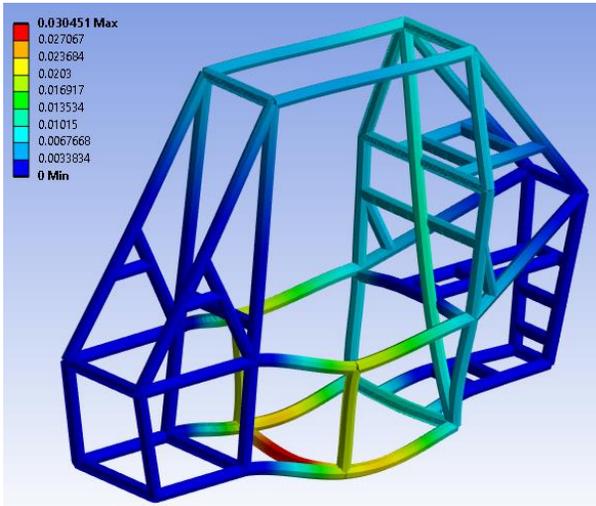


Fig. 11 Representación de la flexión máxima en la estructura del vehículo.

Como se observa en la figura anterior, la estructura del vehículo presenta una deflexión máxima de 0.015955 mm, esto basado en la carga aplicada.

### B. Rigidez torsional

La deformación torsional presentada en la estructura se muestra en la figura 12.

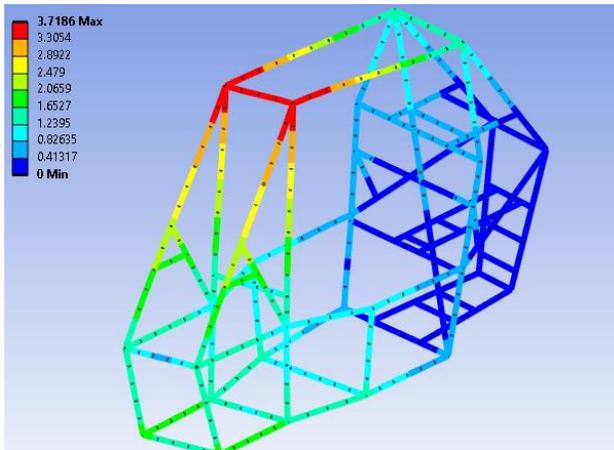


Fig. 12 Representación de la deformación torsional máxima en la estructura del vehículo.

Como se observa en la figura 12, la estructura presenta una deformación torsional máxima de 3.7186 mm, la cual se concentra en la unión del FBMup y RHO. Adicionalmente se obtuvo un ángulo de torsión de 0.16227. Como se observa en la figura 13.

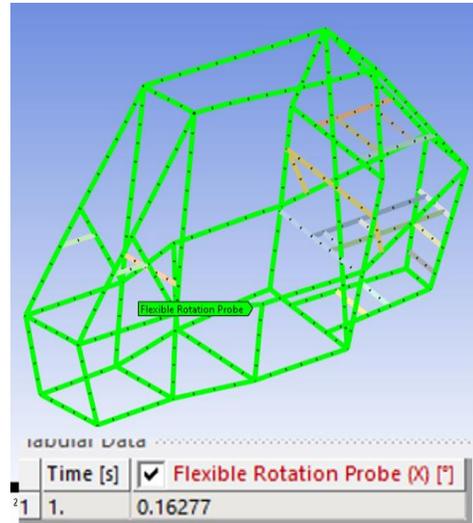


Fig. 13 Ángulo de torsión obtenido en ANSYS para el análisis de rigidez torsional.

Con el fin de obtener el valor de la rigidez torsional del vehículo, se empleó la ecuación 3:

$$R_T = \frac{T}{\alpha} \quad (3)$$

Dónde:

$$R_T = \text{Rigidez torsional de la estructura} \left[ \frac{Nm}{deg} \right] \left[ \frac{Nm}{deg} \right]$$

$\alpha$  = Ángulo de torsión en [deg]  
 $T$  = Par generado en [Nm]

En base a lo anterior se tiene el resultado en la ecuación 4:

$$R_T = \frac{(1103.62N)(0.4133m)}{0.16277^\circ} = 2802.27 \text{ Nm/}^\circ \quad (4)$$

### C. Impacto frontal y lateral

Por otra parte, el resultado del análisis de impacto frontal, así como también de impacto lateral se pueden observar en las figuras 14 y 15.

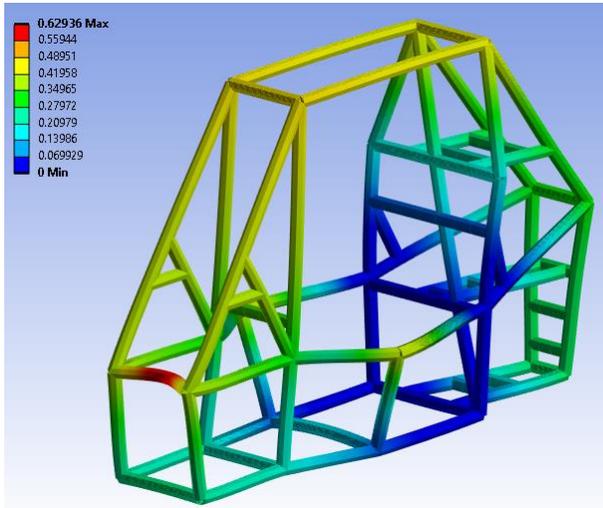


Fig. 14 Representación de la deformación máxima en la estructura del vehículo causada por un impacto frontal.

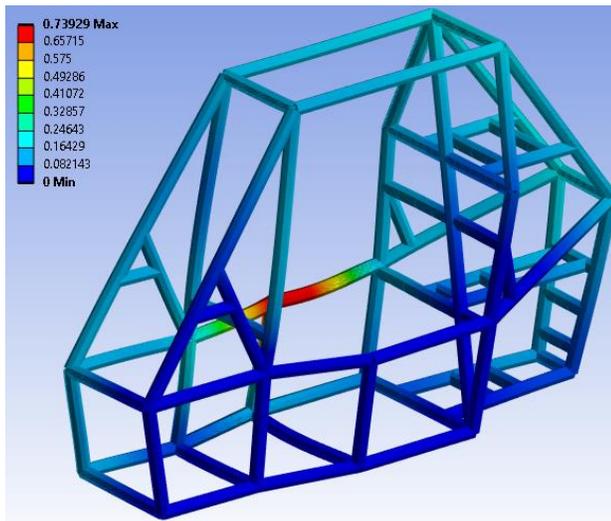


Fig. 15 Representación de la deformación máxima en la estructura del vehículo causada por un impacto lateral.

El análisis de impacto frontal, tomando en cuenta las fuerzas descritas previamente muestra una deformación máxima de 0.61094 mm, mientras que se obtuvo un valor de 0.73297 mm de deformación máxima en el análisis de impacto lateral. Con el objetivo de evitar que la estructura entre en un estado de resonancia se analizaron los diferentes modos de vibración de la estructura, los cuales se presentan en la figura 16.

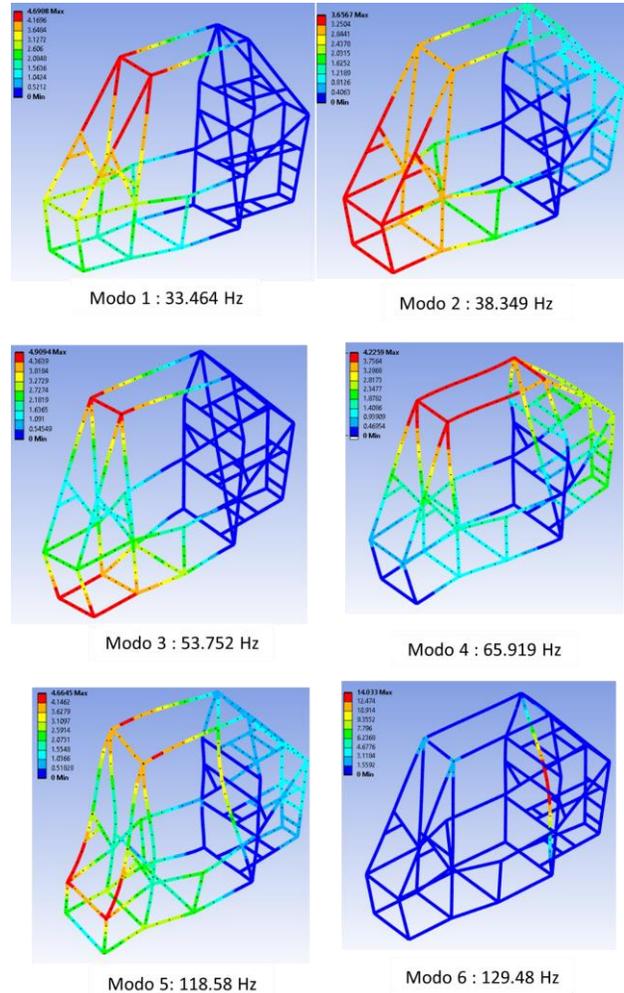


Fig. 16 Representación de los modos de vibraciones y deformaciones en la estructura del vehículo

Tomando en consideración estos resultados, se comparó el límite de cedencia del material seleccionado en conjunto con el criterio de Von Mises para los diferentes análisis, como se muestra en la tabla IX.

TABLA IX  
RESULTADOS ESTRUCTURALES EN EL VEHICULO BAJA

Análisis	Tensión de Von Mises (MPa)	Esfuerzo de cedencia AISI 4130
Flexión	0.18057	827.371 MPa
Torsional	4.7231	

Impacto frontal	2.0918	
Impacto lateral	1.9579	

Como parte de la evaluación modal, se identificaron las revoluciones típicas de operación del motor del vehículo, en este caso por reglamento se ocupa un motor cuya frecuencia de operación es de 60 Hz (3600 rpm). Se valida en base a la figura 16, que esta frecuencia no opera en el ciclo de las frecuencias de operación de la estructura.

#### IV. MANUFACTURA DE LA ESTRUCTURA

La manufactura de la estructura empezó con la elaboración de los planos de manufactura los cuales se pueden observar en la figura 17, en los cuales se describió paso a paso cual es el proceso sugerido para integrar los miembros estructurales

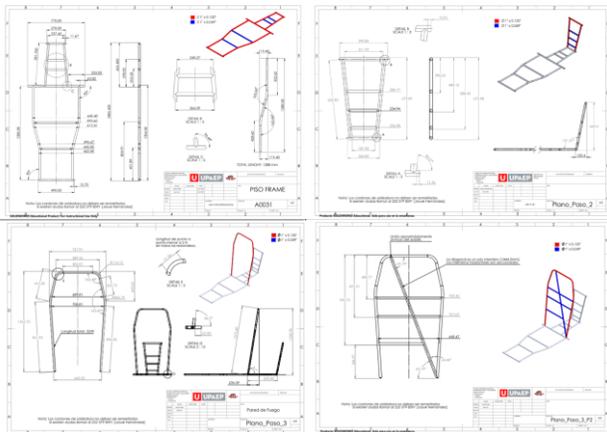


Fig. 17 Planos de fabricación de estructura

Los planos cuentan con una imagen isométrica en la cual, con ayuda de un código de colores y varias configuraciones, se indican los tubos que se deben de utilizar para la fabricación de cada parte. Para facilitar el proceso de fabricación se realizaron trazos en el piso, al mismo tiempo se hicieron cortes seccionales y de esta manera se pudo verificar la posición de cada uno de los miembros primarios. Como se puede observar en la figura 18, el primer paso fue hacer el piso ya que define el largo y ancho del vehículo. Posteriormente se realizaron los dobleces de la pared de fuego se soldaron los miembros transversales para asegurar las dimensiones.



Fig. 18 Fabricación de piso de estructura

En la figura 19 se puede observar la unión entre el piso y la pared de fuego y por último se añadieron los SIM y los FBM. Por último, se agregaron todos y cada uno de los miembros. Esto se muestra en la figura 19.



Fig. 19 Fabricación de estructura

En la figura 20 se muestra el resultado final del vehículo BAJA de la competencia 2022, en base a los parámetros desarrollados y las geometrías diseñadas en el proceso anteriormente descrito.



Fig. 20 Estructura y vehículo BAJA SAE 2022

#### V. DISCUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

En el presente trabajo se describe el desarrollo de la estructura de un vehículo BAJA para la competencia 2022, mediante herramientas de modelación y análisis estructural. Diversos estudios se han presentado para la revisión de las condiciones de operación de la estructura del vehículo BAJA en las competencias universitarias, [9] compararon diversos materiales entre ellos el AISI 1018 y el AISI 4130 al igual que se hizo en este estudio, coincidiendo en el uso del AISI 4130 para garantizar el funcionamiento con seguridad en las pruebas de la competencia y donde sus estudios de impacto, los cuales tuvieron un enfoque más centrado en la competencia que en estudios centrados en la integridad estructural como se hizo en este documento, por lo mismo no se presentaron valores de rigidez torsional o flexión, así como análisis modales de la estructura. Dentro de las similitudes se presentaron valores de deformación, los cuales, en comparación con los presentados en este estudio, se observan deformaciones máximas de la estructura entre 1.2813 y 3.7145 mm. Otro estudio presentado para la evaluación de un prototipo de la estructura de un vehículo BAJA, fue el presentado en la referencia [10], presentan los resultados de la evaluación de la rigidez torsional para el vehículo de la competencia BAJA donde el material evaluado fue el AISI 1020. En el estudio. [10] presentan cuatro casos de evaluación de la rigidez torsional, siendo el único caso estudiado a diferencia de los presentados en esta investigación y donde el primer caso que es similar al presentado en este estudio con resultado de 1192.5 Nm/°. Finalmente, en la referencia [11], se presentó una metodología de evaluación para la rigidez torsional y criterios de evaluación estructural, se describió la evaluación del chasis de un vehículo tipo BAJA y donde además de la evaluación de la torsión de la estructura se mostraron resultados de deformación bajo diferentes valores de carga. En el estudio [11] se obtuvo una rigidez torsional de 1169.03 Nm/° y una deformación de 0.2 a 1.9mm. Un resumen de resultados encontrados se presenta en la tabla X.

TABLA X  
RESULTADOS DE RIGIDEZ TORSIONAL EN ESTRUCTURAS BAJA SAE

Referencia	Valor (Nm/°)	Deformación estructura (mm)	Tipos de estudios
[9]	No se evaluó	1.2813 – 3.7145	Estructural
[10]	1192.5	No se evaluó	Estructural
[11]	1629.64	1.2 – 1.9	Estructural
Trabajo actual	2808.27	0.030451 – 3.7186	Estructural Modal

En la tabla X, se observan los valores de la rigidez torsional, los cuales el estudio presenta valores por encima de los analizados en otros estudios, mientras que, por la deformación de los casos

de carga, encontramos valores similares a los presentados por otras investigaciones. La diferencia de valores en la rigidez torsional, se puede identificar en los criterios de diseño, la distribución y caso de cargas, así como de las condiciones de frontera para los puntos de soporte de la suspensión planteados. Para futuros diseños de la estructura sería importante tomar en cuenta los criterios presentados por las investigaciones descritas previamente. Las herramientas y los criterios presentados no solamente validaron la fabricación de la estructura sino también fueron presentados en las pruebas de diseño de la competencia cumpliendo satisfactoriamente la evaluación de los jueces. Como parte de la misma competencia y para trabajo a futuro, se tendrá que acoplar un sistema de tracción total debido al cambio de reglas, esto significa que los criterios de análisis presentados, así como la misma definición de la estructura tendrán que ser replanteados para el cumplimiento de los requerimientos mínimos de seguridad para la competencia.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, por el uso de las instalaciones y las facilidades otorgadas en el desarrollo de este trabajo.

#### REFERENCIAS

[1] D. Khanzode, N. Akre y A. Deotale, "ANALYSIS OF STRESSES AND MATERIAL SELECTION OF SAE BAJA ATV – A REVIEW", IJRME-International Journal of Research in Mechanical Engineering, vol. 03, pp 24-29, April 2016

[2] L. Castro, A. Pires and A. Alencar, "Estudo de vibrações livres de um chassi space-frame tipo Baja", Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, August 2017.

[3] J. Shiva, A. Shetye and P. Mallapur, "Design and Analysis of Chassis for SAE BAJA Vehicle", IOSR Journal of Engineering (IOSR JEN), pp. 51-57, May 2023.

[4] I. Cortés, "Diseño y construcción del chasis del vehículo Baja SAE UNAM 2015", Universidad Nacional Autónoma de México, 2016.

[5] A. Becerra and D. Pachito, "Diseño y construcción del bastidor y sistema de suspensión de un vehículo según la normativa baja SAE (Bachelor's thesis)", July 2021.

[6] RAO, M. P. D. R., NARESH, M. C., & PHANISANKAR, M. B. (2020). DESIGN AND STRUCTURAL ANALYSIS OF BAJA FRAME WITH CONVENTIONAL AND COMPOSITE MATERIALS. INTERNATIONAL JOURNAL, 5(7).

[7] P. David, C. Naresh, B S S, Phanisankar, "DESIGN AND STRUCTURAL ANALYSIS OF BAJA FRAME WITH CONVENTIONAL AND COMPOSITE MATERIALS", International Journal of Advance Scientific Research and Engineering Trends, vol. 05, Issue. 7, July 2020.

[8] BAJA SAE México / saemx. (n.d.). Saemx. <https://www.saemx.org/bajasaemexico>

[9] Devi, P. A., & Dilip, A. (2014). Design and Optimisation of Sae Mini Baja Chassis. Carbon, 190(210), 190-210.

[10] Barbosa, L. F. F. M., Tomazini, J. E., Martins, M. S., Moreira, L. R. R. Q., Hori, M. Y. T., & Silva, L. F. S. (2016). Finite Element and Experimental Analysis of the Torsional Stiffness of a Chassis of a Baja SAE Prototype (No. 2016-36-0124). SAE Technical Paper.

[11] de Moraes, M. C., & Menezes, M. A. (2020). Determination, Validation, and Dynamic Analysis of an Off-Road Chassis. Engineering Design Applications III: Structures, Materials and Processes, 45-60.