



UNIVERSIDAD DEL AZUAY  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
AUTOMOTRIZ

Análisis de los modelos de carga sobre la estructura  
tubular de un vehículo eléctrico biplaza mediante  
simulación computacional

Trabajo de Graduación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Autores

Pedro Israel Cuesta Sisalima  
Andrés Xavier Narváez Parapi

Director

Hernán Viteri Cerda

CUENCA – ECUADOR  
2021

# Análisis de los modelos de carga sobre la estructura tubular de un vehículo eléctrico biplaza mediante simulación computacional.

## Resumen

El documento describe el diseño de una estructura tubular y simulación de los modelos de carga para un vehículo eléctrico.

Se investiga el fundamento teórico de los esfuerzos y condiciones de manejo que está sometido la estructura tubular con el propósito de establecer los modelos de carga, además se determinará a través de ingeniería inversa las prestaciones de la estructura tubular del vehículo Ariel Atom 2.

Se realiza el diseño de la estructura tubular del vehículo eléctrico partiendo del modelo base formado por el vehículo Ariel Atom 2 tomando en cuenta modificaciones de espacio y optimización topológica de la estructura tubular, luego se determina la simulación final de los modelos de carga en la estructura tubular mediante análisis por elementos finitos para encontrar los desplazamientos, tensiones y rigidez.

Por último, se compara los factores de seguridad y la rigidez torsional obtenida en los modelos de carga de las dos estructuras.

**Palabras clave:** estructura, modelos de carga, simulación computacional, rigidez torsional.



Ing. Hernán Viteri.  
Director de trabajo de titulación



Ing. Robert Rockwood  
Coordinador de escuela



Pedro Israel Cuesta Sisalima  
Autor



Andrés Xavier Narváez Parapi  
Autor

## Abstract

The document describes the design of a tubular structure and simulation of the load models for an electric vehicle. We researched the theoretical basis about the effort and driving conditions that the tubular structure is subjected, in order to establish the load models. In addition, the performance of the tubular structure of the Ariel Atom 2 vehicle was determined through reverse engineering. We designed the tubular structure of the electric vehicle, starting from the base model formed by the Ariel Atom 2 vehicle, taking into account space modifications and topological optimization of the tubular structure, then we determined the final simulation of the load models in the tubular structure through an analysis by finite element to find the displacements, stresses and stiffness. Finally, we compared the safety factors and torsional stiffness obtained in the load models of the two structures.

**Keywords: structure, load models, computational simulation, torsional stiffness.**



Ing. Hernán Viteri.  
Thesis Director



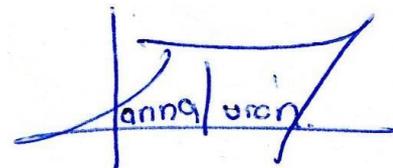
Ing. Robert Rockwood  
Faculty Coordinator



Pedro Israel Cuesta Sisalima  
Author



Andrés Xavier Narváez Parapi  
Author



# Análisis de los modelos de carga sobre la estructura tubular de un vehículo eléctrico biplaza mediante simulación computacional.

Andrés Xavier Narváez Parapi  
Ingeniería en Mecánica Automotriz  
Universidad del Azuay  
Cuenca, Ecuador  
anarvaez@es.uazuay.edu.ec

Pedro Israel Cuesta Sisalima  
Ingeniería en Mecánica Automotriz  
Universidad del Azuay  
Cuenca, Ecuador  
pedro072717@es.uazuay.edu.ec

**Abstract** — The document describes the design of a tubular structure and simulation of the load models for an electric vehicle.

We researched the theoretical basis about the effort and driving conditions that the tubular structure is subjected, in order to establish the load models. In addition, the performance of the tubular structure of the Ariel Atom 2 vehicle was determined through reverse engineering [1].

We designed the tubular structure of the electric vehicle, starting from the base model formed by the Ariel Atom 2 vehicle, taking into account space modifications and topological optimization of the tubular structure, then we determined the final simulation of the load models in the tubular structure through an analysis by finite element to find the displacements, stresses and stiffness.

Finally, we compared the safety factors and torsional stiffness obtained in the load models of the two structures.

**Keywords:** structure, load models, computational simulation, torsional stiffness.

**Resumen** — El documento describe el diseño de una estructura tubular y simulación de los modelos de carga para un vehículo eléctrico.

Se investiga el fundamento teórico de los esfuerzos y condiciones de manejo que está sometido la estructura tubular con el propósito de establecer los modelos de carga, además se determinará a través de ingeniería inversa las prestaciones de la estructura tubular del vehículo Ariel Atom 2 [1].

Se realiza el diseño de la estructura tubular del vehículo eléctrico partiendo del modelo base formado por el vehículo Ariel Atom 2 tomando en cuenta modificaciones de espacio y optimización topológica de la estructura tubular, luego se determina la simulación final de los modelos de carga en la estructura tubular mediante análisis por elementos finitos para encontrar los desplazamientos, tensiones y rigidez.

Por último, se compara los factores de seguridad y la rigidez torsional obtenida en los modelos de carga de las dos estructuras.

**Palabras clave:** estructura, modelos de carga, simulación computacional, rigidez torsional.

## I. INTRODUCCIÓN

El chasis de un vehículo es la estructura más significativa, ya que tiene como función principal el conectar y sujetar los distintos componentes que conforman un vehículo. Soporta sus cargas y ofrece protección al conductor en caso de accidente [2].

En el diseño de un chasis existen parámetros fundamentales como:

La rigidez, sin duda es el parámetro fundamental de funcionamiento del chasis. Es importante conseguir una estructura resistente a impactos para la protección del piloto, siendo la rigidez el factor del chasis que más influye en el comportamiento del vehículo en pista.

La ligereza mejora mucho la potencia y rendimiento de un motor. Por otro lado, el chasis es uno de los elementos más pesados del vehículo, y una reducción de masa proporciona una disminución de consumo importante.

El objetivo general es analizar los modelos de carga mediante simulación computacional sobre la estructura tubular de un vehículo eléctrico biplaza semejante a la estructura del vehículo Ariel Atom 2, además determinar mediante ingeniería inversa las prestaciones de la estructura tubular del vehículo Ariel Atom 2, luego simular mediante elementos finitos la estructura tubular diseñada con el uso del software CAE y comparar las prestaciones del chasis Ariel Atom 2 con la estructura tubular diseñada para el vehículo eléctrico.

## II. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA TUBULAR DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

### A. Aspectos de diseño para la estructura tubular de un vehículo eléctrico.

En el cálculo de las estructuras tubulares hay dos problemas a solucionar, uno de ellos son las tensiones, para ello se debe tener en cuenta que la estructura resista cierto coeficiente de seguridad de la tensión máxima admisible del material sin deformaciones plásticas remanentes, para ello debemos saber cuáles son las fuerzas y apoyos en el sistema para una simulación correcta. El otro problema son las deformaciones ya que debemos saber cuál es el límite aceptable [3].

Desde un punto de vista de la dinámica vehicular la rigidez torsional es relevante para cerciorarse que el comportamiento del vehículo es el adecuado en cualquier modo de manejo haciendo que este factor sea el parámetro

fundamental a tomar en cuenta porque está relacionada directamente con la protección del conductor del vehículo. La rigidez se puede calcular a través de la ecuación que relaciona la fuerza torsora aplicada con el ángulo que esta genera [4].

$$K_{\text{rigidez}} = \frac{T}{\theta} \quad (1)$$

Donde:

$K_{\text{rigidez}}$ : rigidez en Nm/°

T: fuerza torsora en Nm.

$\theta$ : ángulo de deformación en grados.

### B. Distribución de masas.

Para un buen desempeño del vehículo se debe tener en cuenta que el centro de gravedad sea lo más bajo posible para tener mayor estabilidad durante la conducción. Además, es importante determinar la ubicación de los componentes del vehículo en la fase de diseño [5].

Una de las mayores masas del chasis tubular son las baterías, por lo que, debemos considerar su peso y los modelos de carga ejercidos por el mismo.

Al momento de diseñar la estructura tubular se consideran las masas de:

- El peso de las 6 baterías del vehículo es de 312 kg. Dos baterías están situadas en medio del piloto y pasajero, las demás están colocadas detrás de los asientos [6].
- El controlador y motor eléctrico con un peso de 6 kg y 24 kg respectivamente se ubican en la parte posterior del vehículo [6].
- El peso del piloto y pasajero según la media poblacional ecuatoriana es de 74.2 kg con un total de 148 kg [7].
- Dos asientos con un peso total de 40 kg [8].
- Los elementos de dirección con un peso aproximado de 18 kg [9].

### C. Modelos de carga en la estructura tubular.

- Flexión: Es el comportamiento del chasis cuando se encuentra en reposo. Sin considerar las masas suspendidas que son ruedas, disco de freno, tambores, suspensión, ya que no imponen carga a la estructura [10].
- Aceleración: Son las fuerzas producidas al acelerar bruscamente el vehículo [11].
- Frenado: Son las fuerzas que se producen al frenar el vehículo [11].
- Curva: Son las fuerzas que se producen cuando el vehículo realiza una trayectoria circular, la aceleración centrífuga provoca la transferencia de pesos desde la rueda interior a la exterior generando cargas laterales a la estructura tubular [12].
- Rigidez a torsión: Es la prueba más exigente y crítica ya que define el comportamiento del vehículo en circulación. Estos esfuerzos son causados por la

suspensión cuando el vehículo entra en una curva o pasa por un bache [13].

### D. Selección de material.

Para elegir el material de la estructura tubular se debe tener en cuenta las propiedades físicas y mecánicas del mismo. Por lo tanto, habrá de compararse con otro material comercializado a nivel nacional indicados en la tabla I [14].

TABLA I. MATERIALES PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

	Acero del Ariel Atom 2	Acero comercial Ecuador
Propiedades	ASTM A572	ASTM A36
Densidad	7.85 gr/cc	7.86 gr/cc
Límite elástico	345 MPa	250 MPa
Módulo de elasticidad (Young)	205 GPa	205 GPa

### E. Geometría de la estructura tubular del vehículo Ariel Atom 2.

El vehículo Ariel Atom 2 es un vehículo fabricado por la compañía Ariel Motor Company, con base en Somerset, Inglaterra, el mismo destaca por su alta potencia, pero sobre todo por su bajo peso, como se muestra en la Fig. 1. Sus principales prestaciones son [1]:

- Potencia máxima: 224 KW @ 8200 rpm.
- Par máximo: 259 Nm @ 8200 rpm.
- Velocidad máxima: 241 Km/h.
- Aceleración de 0 a 100 km/h: 2.7 segundos.
- Peso total: 456 kg.
- Peso aproximado del motor: 183 kg.



Fig. 1. Vehículo Ariel Atom 2 [1].

Partiendo de un chasis tubular de un vehículo de altas prestaciones como se muestra en la Fig. 2 con un peso total aproximado de 120 kg, esta estructura está diseñada para un motor de combustión interna en la parte posterior.

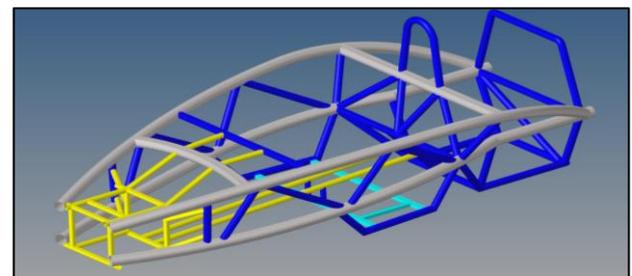


Fig. 2. Estructura tubular del vehículo Ariel Atom 2.

### F. Boceto inicial 3D de la estructura tubular del vehículo eléctrico

La estructura tubular del vehículo eléctrico a diseñar debe asemejarse a la forma que tiene el chasis del Ariel Atom 2 por lo tanto se tomó en cuenta solamente el diseño de los largueros laterales que tienen curvatura y los demás tubos tienen otras dimensiones considerando algunos cambios, ya que para un sistema de tracción eléctrica es necesario tener el espacio y ubicación adecuada para las baterías, el motor eléctrico y el controlador. Finalmente se obtuvo el boceto 3D como se muestra en la Fig. 3. para la estructura tubular del vehículo eléctrico

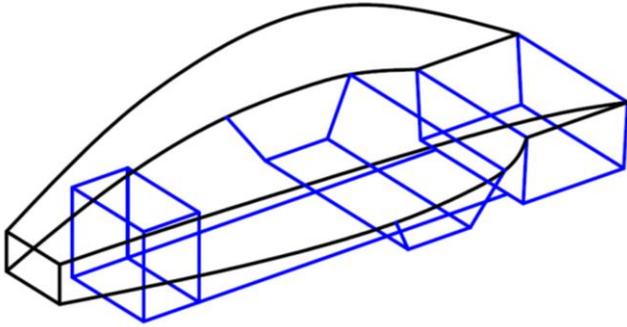


Fig. 3. Boceto inicial de la estructura tubular del vehículo eléctrico.

### G. Modelado 3D de la estructura tubular del vehículo eléctrico con optimización topológica.

Con el boceto inicial 3D se realiza la optimización topológica [15], para lograr la máxima resistencia del chasis con el peso mínimo, con esto se logró determinar en donde se colocará los tubos secundarios como se muestra en la Fig. 4.

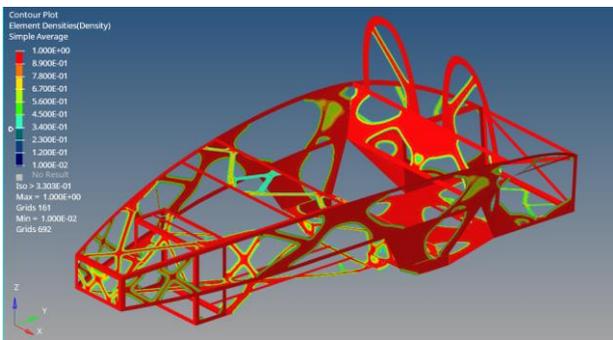


Fig. 4. Optimización topológica de la estructura tubular del vehículo eléctrico.

Con la disposición ya optimizada podemos dibujar la geometría que tendría la estructura tubular como se muestra en la Fig. 5. Las dimensiones de los tubos se indican en la tabla II.

TABLA II. MEDIDAS DE LOS TUBOS.

Tubos	Color	Diámetro [mm]	Espesor [mm]
Largueros	Negro	60.3	3
Principales	Azul	38.1	2
Secundarios	Naranja	38.1	2

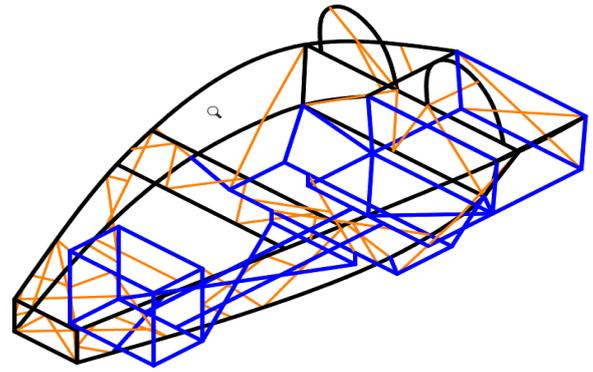


Fig. 5. Boceto final de la estructura tubular del vehículo eléctrico.

En el modelado 3D y mallado de la geometría [16] se añadió chapa metálica en los puntos críticos que presenta la optimización topológica para reforzar la estructura tubular, además se colocó los soportes que unirán las barras de la suspensión delantera y posterior para poder colocar los apoyos. Finalmente se obtuvo el modelo 3D como se muestra en la Fig. 6. El peso aproximado de la estructura tubular final es de 177 kg, comparado con la del Ariel Atom 2 (120 kg) que es un 47% más.

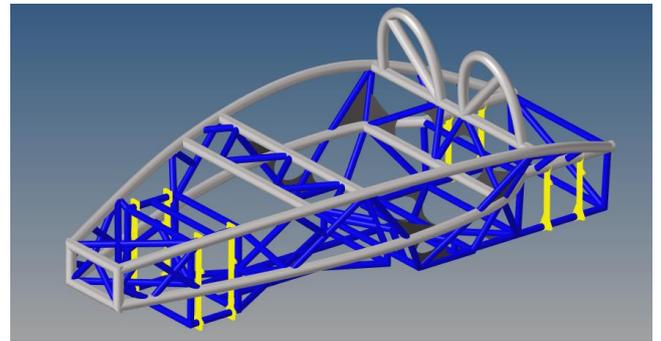


Fig. 6. Modelado y mallado de la estructura tubular del vehículo eléctrico.

## III. SIMULACIÓN Y PRUEBAS

Una vez determinada la geometría de la estructura tubular del vehículo Ariel Atom 2 y del vehículo eléctrico diseñado, con el software Hypermesh se realiza el proceso de mallado para cada estructura y lograr simular los modelos de carga para condiciones desfavorables en el manejo. El reparto de las fuerzas que actúan en las estructuras se conoce con la siguiente fórmula:

$$F_{\text{punto de anclaje}} = \sum \frac{P_i}{N} * a * g \quad (2)$$

Donde:

- Fpunto de anclaje: fuerza en el punto de anclaje en N.
- Pi: peso de cada componente del vehículo en kg.
- N: número de nodos que soporta la pieza.
- a: aceleración que sufre el chasis medido en fuerzas g y se considerará un valor igual a la unidad.
- g: es la aceleración de la gravedad en m/s<sup>2</sup>.

Con la ecuación (2) se obtienen las fuerzas en los puntos de anclaje de cada componente de la estructura tubular para cada modelo de carga. Las pruebas realizadas son:

**Flexión:** Este análisis consiste en comprobar el buen comportamiento a flexión cuando el chasis está en reposo. Además, se colocan los apoyos en los puntos de anclaje de la suspensión delantera y posterior como se muestra en la Fig. 7. En este caso la aceleración es  $1g$  ya que la estructura tubular se encuentra estática, para ello se calcula las fuerzas en los puntos de anclaje del vehículo como lo indica la tabla III.

TABLA III. FUERZAS DE LA PRUEBA DE FLEXIÓN.

	Puntos de anclaje	Peso [kg]	Fuerza total [N]	Fuerza punto de anclaje [N]
Pack de baterías 1	4	104	1020.24	255.06
Pack de baterías 2	4	208	2040.48	510.12
Motor eléctrico y controlador	4	30	294.30	73.58
Piloto y copiloto	8	188.4	1848.20	231.03
Elementos de la dirección	4	18	176.58	44.15

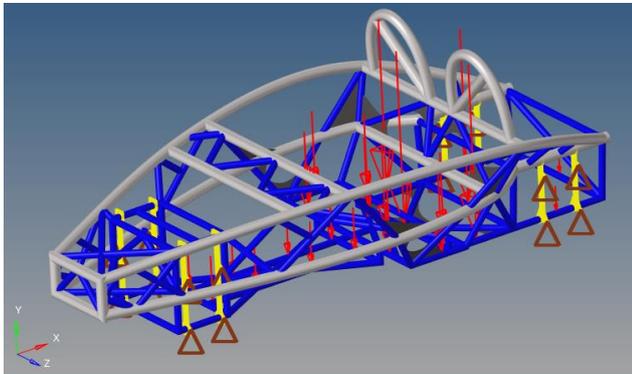


Fig. 7. Aplicación de fuerzas y sujeción del vehículo eléctrico en flexión.

**Aceleración:** En este caso el eje trasero es el que transmite fuerza de aceleración a la estructura tubular, con lo que la simulación se realizará fijando el eje posterior y los movimientos verticales y laterales del eje delantero, por lo tanto, se fijarán los nodos donde irán ancladas las barras de suspensión posterior y se restringirán el eje Y y Z de los nodos de la suspensión delantera como se muestra en la Fig. 8. En este caso, las fuerzas en los puntos de anclaje están en dirección al eje x como lo indica la tabla IV, para el cálculo de la aceleración se tiene en cuenta la velocidad del motor eléctrico a 100 km/h en un tiempo de 4 segundos será  $6,95 \text{ m/s}^2$ , lo que equivale a **0,70 g** [17].

TABLA IV. FUERZAS DE LA PRUEBA DE ACELERACIÓN.

	Puntos de anclaje	Peso [kg]	Fuerza total [N]	Fuerza punto de anclaje [N]
Pack de baterías 1	4	104	666.64	166.66
Pack de baterías 2	4	208	1333.28	333.32
Motor eléctrico y controlador	4	30	192.28	48.08
Piloto y copiloto	8	188.4	1207.64	150.6
Elementos de la dirección	4	18	115.38	28.85

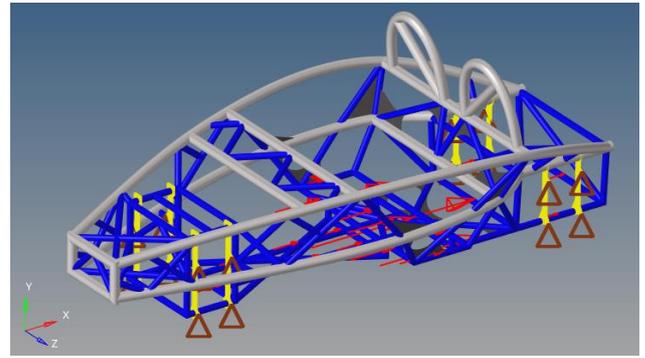


Fig. 8. Aplicación de fuerzas y sujeción del vehículo eléctrico en aceleración.

**Frenado:** Esta prueba se realiza con apoyos fijos en los nodos donde irán ancladas las barras de suspensión trasera y delantera como se muestra en la Fig. 9 y simulando gravedad y la fuerza de frenada como se indica en la tabla V, para realizar esta prueba se consideran las fuerzas que se producen en una frenada en un caso extremo de 100 a 0 km/h en un tramo de 25 m [17]. Estas aceleraciones se calculan mediante la fórmula:

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot (x_1 - x_2)} \quad (3)$$

donde:

a: aceleración en  $\text{m/s}^2$ .

$v_2$ : velocidad final en m/s.

$v_1$ : velocidad inicial en m/s.

$x_1$ : posición inicial en m.

$x_2$ : posición final en m.

La aceleración para la prueba de frenada será de  $15,43 \text{ m/s}^2$ , lo que equivale a **1,57 g**.

TABLA V. FUERZAS DE LA PRUEBA DE FRENADO.

	Puntos de anclaje	Peso [kg]	Fuerza total [N]	Fuerza punto de anclaje [N]
Pack de baterías 1	4	104	1604.72	401.18
Pack de baterías 2	4	208	3209.44	802.36
Motor eléctrico y controlador	4	30	462.01	115.73
Piloto y copiloto	8	188.4	2907.01	363.38
Elementos de la dirección	4	18	277.74	66.44

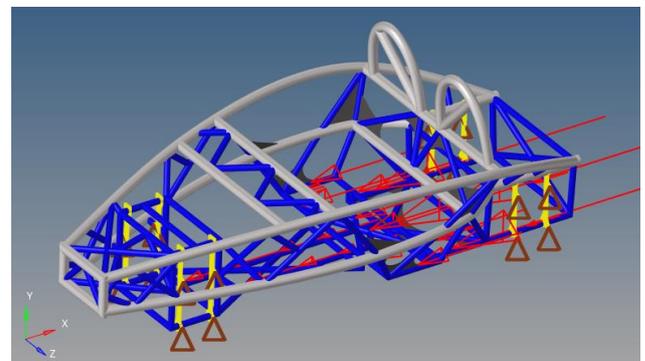


Fig. 9. Aplicación de fuerzas y sujeción del vehículo eléctrico en frenado.

**Curva:** La prueba consiste en el empuje lateral con los apoyos fijos en los ejes de las ruedas, en sentido positivo si la curva es a la derecha y en sentido negativo si la curva es a la izquierda y se restringe el movimiento en los puntos de anclaje inferiores de la suspensión delantera y posterior, ya que en los puntos de anclaje superiores actuarán las fuerzas en dirección a la fuerza centrífuga como se muestra en la Fig. 10. La fuerza ejercida sobre el chasis durante el giro será:

$$F_c = m \cdot \frac{v^2}{r} \quad (4)$$

donde:

F<sub>c</sub>: fuerza centrífuga que afecta al vehículo en el paso por curva en N.

m: masa del vehículo en kg.

v: es la velocidad de paso por curva en m/s.

r: es el radio de la curva en m.

Para calcular las aceleraciones producidas se representan las condiciones más desfavorables que podría sufrir la estructura tubular, para esto se supone una curva con radio de 35 metros, tomada a una velocidad crítica de 90 km/h con una masa del vehículo estimada en 672 kg. Por tanto, la fuerza centrífuga será 12000 N, obteniendo una aceleración de 17.86 m/s<sup>2</sup>, lo que equivale a una aceleración de **1.82 g** [18].

Las fuerzas producidas en los puntos de anclaje por esta aceleración se indican en la tabla VI.

TABLA VI. FUERZAS DE LA PRUEBA DE CURVA.

	Puntos de anclaje	Peso [kg]	Fuerza total [N]	Fuerza punto de anclaje [N]
Pack de baterías 1	4	104	2228.72	557.18
Pack de baterías 1	4	208	4457.44	1114.36
Motor eléctrico y controlador	4	30	642.90	160.73
Piloto y copiloto	8	188.4	4037.41	504.68
Elementos de la dirección	4	18	385.74	96.44

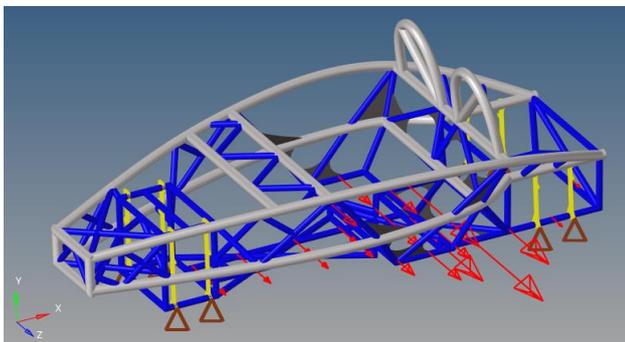


Fig. 10. Aplicación de fuerzas y sujeción del vehículo eléctrico en curva.

**Rigidez a torsión:** Esta prueba se toma al ejercer un par torsor en los puntos donde se anclan los brazos de la suspensión delantera, mientras que se fijan el desplazamiento en la suspensión posterior como se muestra en la Fig. 11. También se ejerce un par torsor invertido en

los puntos donde se anclan los brazos de la suspensión posterior, mientras se fijan el desplazamiento en la suspensión delantera como se muestra en la Fig. 12.

Las fuerzas aplicadas son las que producen un par torsor de 3000 Nm, 375 Nm en cada uno de los ocho nodos donde irán ancladas los brazos de la suspensión delantera. Se ha calculado mediante la fórmula:

$$T = F \cdot L \quad (5)$$

donde:

T: par torsor resultante en Nm.

F: fuerza en N.

L: longitud desde el punto de aplicación de la fuerza hasta el plano de simetría de la estructura en m.

Las fuerzas que se aplicarán para la prueba de torsión se indica en la tabla VII, además las fuerzas que se aplicarán para la prueba de torsión invertida se indica en la tabla VIII.

TABLA VII. FUERZAS DE LA PRUEBA DE TORSIÓN.

	Longitud [m]	Fuerza [N]
Nodo 1	0.176	- 2130.68
Nodo 2	0.176	- 2130.68
Nodo 3	0.176	- 2130.68
Nodo 4	0.176	- 2130.68
Nodo 5	0.176	2130.68
Nodo 6	0.176	2130.68
Nodo 7	0.176	2130.68
Nodo 8	0.176	2130.68

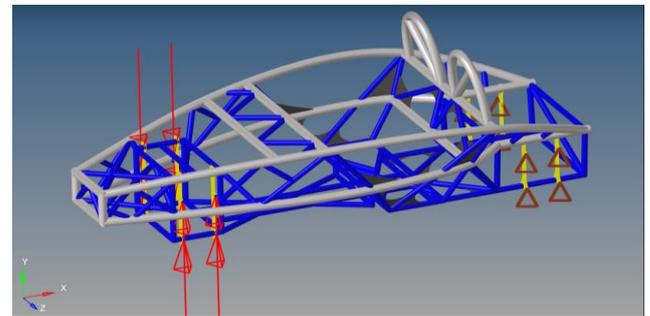


Fig. 11. Aplicación de fuerzas y sujeción del vehículo eléctrico en torsión.

TABLA VIII. FUERZAS DE LA PRUEBA DE TORSIÓN INVERTIDA.

	Longitud [m]	Fuerza [N]
Nodo 1	0.413	- 908
Nodo 2	0.413	- 908
Nodo 3	0.413	- 908
Nodo 4	0.413	- 908
Nodo 5	0.322	1164
Nodo 6	0.322	1164
Nodo 7	0.322	1164
Nodo 8	0.322	1164

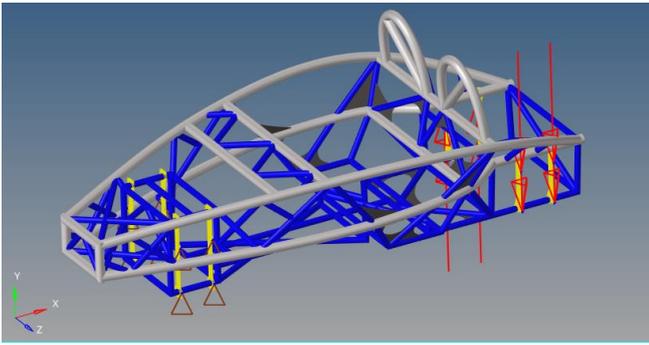


Fig. 12. Aplicación de fuerzas y sujeción del vehículo eléctrico en torsión inversa.

#### IV. RESULTADOS

En las simulaciones de las estructuras tubulares se obtuvieron los desplazamientos máximos (1) y tensiones de Von Mises (2) para encontrar el factor de seguridad (3) en base al esfuerzo admisible de cada material, como se indica en la tabla IV.

TABLA IV. RESULTADOS DE LOS MODELOS DE CARGA.

Modelos de carga		ASTM A572	ASTM 572	ASTM A36
		Sy= 345 MPa	Sy= 345 MPa	Sy= 250 MPa
		Ariel Atom	Vehículo eléctrico	Vehículo eléctrico
Flexión	1	1.62 mm	0.66 mm	0.66 mm
	2	116 MPa	96 MPa	96 MPa
	3	2.97	3.59	2.6
Curva	1	1.85 mm	0.6 mm	0.6 mm
	2	243 MPa	177 MPa	177 MPa
	3	1.42	1.95	1.41
Aceleración	1	0.18 mm	0.2 mm	0.2 mm
	2	42 MPa	56 MPa	56 MPa
	3	8.21	6.16	4.46
Frenado	1	0.38 mm	0.45 mm	0.45 mm
	2	101 MPa	78 MPa	78 MPa
	3	3.41	4.42	3.2
Torsión	1	3.2 mm	2.04 mm	2.04 mm
	2	325 MPa	117 MPa	117 MPa
	3	1.06	2.95	2.13
Torsión invertida	1	4.78 mm	3.57 mm	3.57 mm
	2	311 MPa	140 MPa	140 MPa
	3	1.11	2.46	1.78

Una de las pruebas más exigentes para la estructura tubular se produce cuando el vehículo eléctrico pasa por una curva como se indican en la Fig. 13., y Fig. 14.

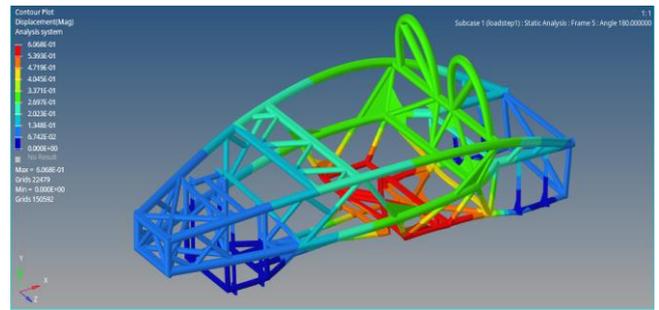


Fig. 13. Desplazamiento máximo en curva del vehículo eléctrico.

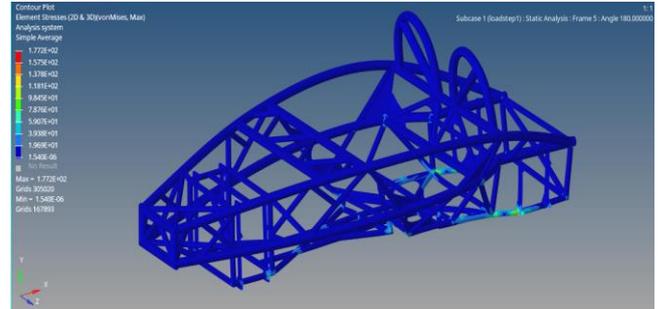


Fig. 14. Tensión de Von Mises en curva del vehículo eléctrico.

En la prueba de torsión de la estructura tubular se obtuvieron los desplazamientos de los nodos producidas por las fuerzas torsoras en el eje delantero y posterior, como se muestra en la Fig. 15. Con este resultado se calcula el ángulo de torsión para encontrar la rigidez como se indica en la tabla X.

TABLA X. RESULTADOS DE TORSIÓN.

		Ariel Atom	Vehículo eléctrico
Torsión	Desplazamiento del nodo.	1.998 mm	1.019 mm
	Ángulo de desplazamiento.	0.65°	0.184°
	Rigidez.	4615 Nm/°	16304 Nm/°
Torsión invertida	Desplazamiento del nodo.	4.11 mm	1.858mm
	Ángulo de desplazamiento.	0.576°	0.228°
	Rigidez.	5208 Nm/°	13157 Nm/°

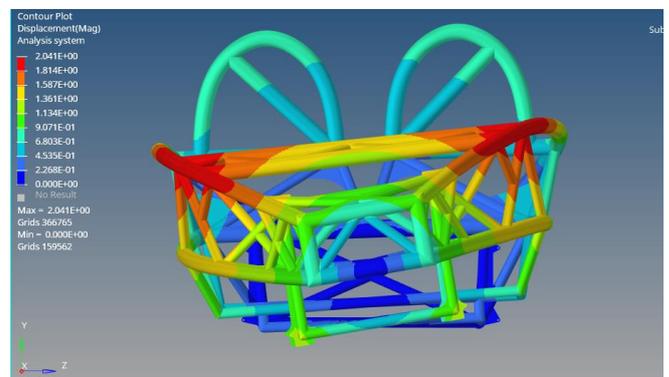


Fig. 15. Desplazamiento de los nodos en torsión del vehículo eléctrico.

## CONCLUSIONES

La simulación de los modelos de carga de la estructura tubular del vehículo Ariel Atom 2, nos permitieron analizar las prestaciones que tenía la geometría de la estructura para los componentes del sistema de tracción eléctrica. La rigidez torsional obtenida es de **4615 Nm/°**, además la prueba más exigente aparte de torsión es en curva, con un desplazamiento máximo de **1.85 mm** y un factor de seguridad de **1.42**. Con la geometría de este chasis se pudo tener una base para el diseño de la estructura del vehículo eléctrico con cambios en las dimensiones para un espacio adecuado de las baterías eléctricas, teniendo en cuenta que el vehículo Ariel Atom 2 destaca en tener un peso total de solo **456 kg** con un peso de **120 kg** de la estructura.

Para las simulaciones de los modelos de carga del vehículo eléctrico, se obtuvieron resultados muy favorables, el desplazamiento y tensión en la prueba de curva que es la más exigente es de **0.66 mm y 177 MPa** respectivamente, con un factor de seguridad de **1.95**, las tensiones máximas se encuentran por debajo de la tensión admisible del material proporcionando un factor de seguridad alto, lo que nos asegura que no debe existir falla en la estructura. La rigidez de la estructura tubular es de **16304 Nm/°**, lo que nos brinda mayor seguridad y un buen comportamiento en cualquier condición normal de funcionamiento.

Una vez obtenida las prestaciones de ambas estructuras tubulares, el factor más importante a analizar es la rigidez ya que la estructura del vehículo eléctrico diseñado es **3.5** veces mayor al vehículo Ariel Atom 2, además se pudo mejorar el factor de seguridad en la prueba crítica que es curva de **1.42 a 1.95**. Hay que tener en cuenta que el peso del chasis de Ariel Atom 2 es de **120 kg** y del vehículo eléctrico **177 kg**, es necesario indicar es que el vehículo Ariel Atom 2 está diseñado para llevar un motor a combustión interna de **183 kg** mientras que el vehículo eléctrico soportará el sistema de tracción eléctrica con baterías, motor y controlador que pesa alrededor de **342 kg**.

En las simulaciones se demostró que la estructura tubular diseñada para el vehículo eléctrico es capaz de resistir los esfuerzos derivados de los modos de conducción, ya que no se sobrepasó el límite elástico del material evitando teóricamente las deformaciones permanentes en la estructura, esto repercute en la calidad del diseño, factibilidad de construcción del vehículo con el material comercializado a nivel nacional ASTM A36 y del ensamble de todos los sistemas del vehículo eléctrico tomando en consideración el espacio adecuado para cada elemento.

## REFERENCIAS

- [1] Specs, U. (s.f). Ariel Atom 2 Ficha Técnica. <https://www.ultimatespecs.com/es/car-specs/Ariel/29346/Ariel-Atom2-20-Supercharged.html>
- [2] Luque, P., Álvarez, D., & Vera, C. (2005). Ingeniería del Automóvil Sistemas y Comportamiento Dinámico. Thomson Editorial.
- [3] Happian-Smith, J. (2001). An introduction to modern vehicle design. Butterworth-Heinemann.
- [4] Álvarez, V. (2018). Diseño y construcción de un chasis tubular de un vehículo de competencia Fórmula SAE eléctrico.
- [5] García, A. (2017). Diseño de chasis para vehículo FSAE. 137.
- [6] Peña, C., Pleite, J. (2011). Estudio de baterías para vehículos eléctricos.
- [7] NCD Risk Factor Collaboration. (2018). Datos mundial. Recuperado el 03 de Junio del 2020 de [https://www.datosmundial.com/estatura-promedio.php?fbclid=IwAR0kSC0jtsWF8clsAUZoftbXr\\_RnH2SbYa0LSJSkfGp9RBFs8B6WzFm4Evv](https://www.datosmundial.com/estatura-promedio.php?fbclid=IwAR0kSC0jtsWF8clsAUZoftbXr_RnH2SbYa0LSJSkfGp9RBFs8B6WzFm4Evv)
- [8] Webedia, B. (2016). Motor Pasión. El asiento del coche. <https://www.motorpasion.com/espaciotoyota/el-asiento-del-coche-es-una-obra-de-ingenieria-infravalorada-asi-es-como-influye-en-su-funcionamiento>
- [9] Llivisaca, C. (2018). Diseño del sistema de dirección de un vehículo de fórmula SAE.
- [10] Rodríguez, C. (2010). Diseño y análisis de un chasis para un prototipo de fórmula SAE. 110.
- [11] Jiménez, A., & Solarte, T. (2018). Diseño y construcción de un vehículo monoplace a gasolina con chasis tubular.
- [12] Maila, J. (2019). Maestría en Diseño Mecánico Mención Fabricación de Autopartes del Vehículo. 99.
- [13] Pons, A. (2016). Vehículo de competición formula SAE: diseño y optimización del chasis. 79.
- [14] IPAC, (2019). Catálogo IPAC Productos y Servicios. <https://www.ipac-acero.com>
- [15] Espinoza, E., Román, S. (2021). Optimización topológica de un chasis tubular para un vehículo eléctrico biplaza.
- [16] Altair Engineering Support. (2019). HyperWorks.
- [17] Trivilla, I. (2020). Diseño y estudio del chasis de un vehículo eléctrico.
- [18] INEN. (2019). Vehículos Automotores Carrocerías de Buses Requisitos. (Norma núm. 1323). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/n-te-inen-1323-1.pdf>