

# DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN VEHÍCULO TIPO BUGGY ELÉCTRICO DE DOS PLAZAS UTILIZANDO PLA COMO MATERIAL PARA LA SIMULACIÓN DEL PROTOTIPO

Alejandro Palacios Méndez<sup>1</sup>, Ilse Jusery Santa Rosa Vargas<sup>1</sup>, Eduardo Hernández Márquez<sup>1</sup>, Fatima Stephania Olguin Ramirez<sup>2</sup>, Sergio Ramirez Ruiz<sup>2</sup>, Germán Aníbal Rodríguez Castro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México. Campus Poza Rica

<sup>2</sup>Alumno del Tecnológico Nacional de México. Campus Poza Rica

<sup>3</sup>Grupo Ingeniería de Superficies, SEPI ESIME Zacatenco. Instituto Politécnico Nacional, U.P. Adolfo López Mateos, Zacatenco, Ciudad de México 07738, México

*alejandro.palacios@itspozarica.edu.mx, Ilse.santarosa@itspozarica.edu.mx, eduardo.hernandez@itspozarica.edu.mx, 21imct108@itspozarica.edu.mx, 21imct065@itspozarica.edu.mx, garodriguezc@ipn.mx*

Palacios, A., Santa Rosa, I., Hernández, E., Olguin, F., Ramirez, S. & Rodríguez, G. (1 de noviembre de 2023). Diseño estructural de un vehículo tipo buggy eléctrico. Boletín UPIITA. 18 (99).

## Abstract

En el diseño industrial el uso de tecnologías computacionales ha permitido el desarrollo de prototipos virtuales que contribuyen al desarrollo del diseño. Francisco y Víctor (2003), comentan que dentro de la ingeniería concurrente aplicada al diseño de producto define que un prototipo es un modelo físico o virtual de una pieza. En el presente se muestra el desarrollo del diseño de un prototipo conceptual, virtual y la simulación de la estructura de un vehículo eléctrico tipo buggy. Para el diseño de la estructura, se emplea la técnica de creatividad de relaciones forzadas. Se toma como modelo de inspiración el transporte marítimo "lancha motora". Para el desarrollo del prototipo virtual y la simulación se emplea SolidWorks. Se realiza análisis estático para determinar el esfuerzo del chasis, el material empleado para el estudio es PLA; los resultados muestran que el área de sección transversal y material propuesto, resisten la carga a la que es sometido.

## 1. Introducción

La técnica de relaciones forzadas, según la fundación Neuronilla (2009), es un "Método creativo desarrollado por Charles S. Whiting en 1958. Su utilidad nace de un principio: combinar lo conocido con lo desconocido, forzando una nueva situación. En la que consiste en lograr claridad en el objetivo y comprende cuales son los principios que se utilizan para la generalización de ideas. Donde toda crítica está prohibida, toda idea es bienvenida, tantas ideas como sea posible y el desarrollo con respecto asociación de ideas es deseable. La técnica consiste en la selección de objeto o imagen al azar.

Se inicia con los bocetos preliminares, que se realizan sin una investigación previa sobre las características técnicas de un vehículo tipo buggy. Posteriormente, se aplica la técnica de relaciones forzadas, permitiendo avanzar al diseño preliminar centrado en el desarrollo del chasis de un prototipo de buggy, diseñado para combinar el aspecto físico de un transporte marítimo "lancha motora" con las características de un vehículo tubular obteniendo una apariencia aerodinámica, moderna y funcional, buscando que, el diseño sea visualmente atractivo al público.

En el presente trabajo se abarca las fases de elaboración de diseños manuales que capturan la idea inicial y las proporciones generales del chasis. Posteriormente se digitalizaron estos bocetos en el software SolidWorks, donde se realizan simulaciones para evaluar el comportamiento estructural del chasis bajo diferentes condiciones, esenciales para anticipar posibles zonas de falla o áreas de requerimiento de esfuerzo.

## 2. Metodología

El boceto inicial que se presenta es el resultado del proceso creativo espontaneo, en el cual se plasma las ideas sin realizar una investigación previa sobre las características técnicas o estructurales de un vehículo tipo buggy (Figura 1). Al no estar condicionado a un estándar predefinido, el boceto inicial brinda una visión autentica de la primera impresión del diseño de un vehículo tipo buggy. A partir de este punto se puede identificar patrones, conceptos claves y elementos innovadores que se mejoran mediante la investigación y la técnica de relaciones forzadas.



Figura 1 Enfoque no estructurado del vehículo, bocetos iniciales.

La aplicación de la técnica de relaciones forzadas consiste en combinar elementos aparentemente no relacionados como lo es una lancha motora o un yate, lo que genera ideas que enriquecen el proceso del diseño como se muestra en la Figura 2.

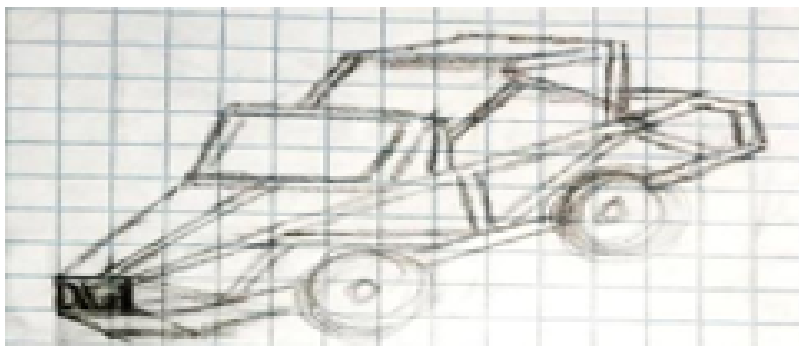
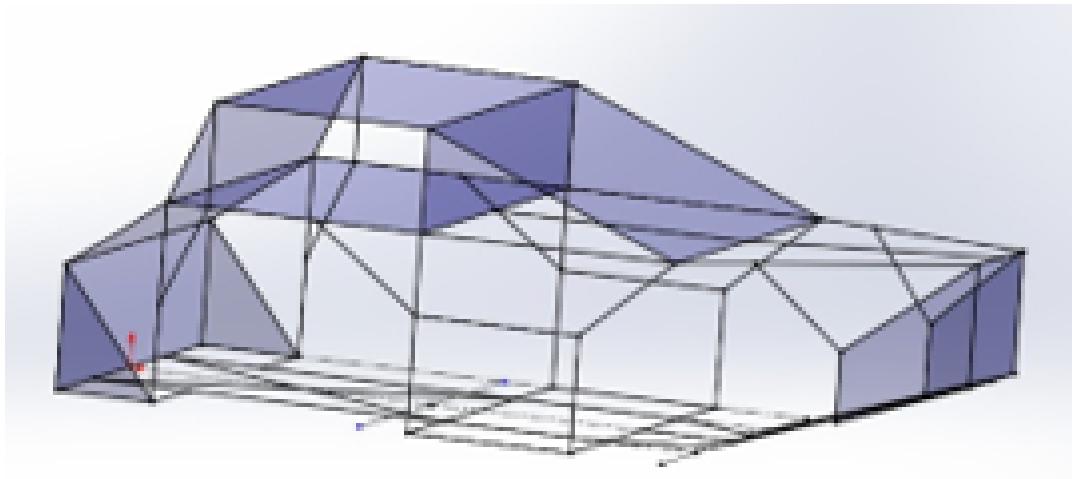


Figura 2 Aplicación de la técnica de relaciones forzadas.

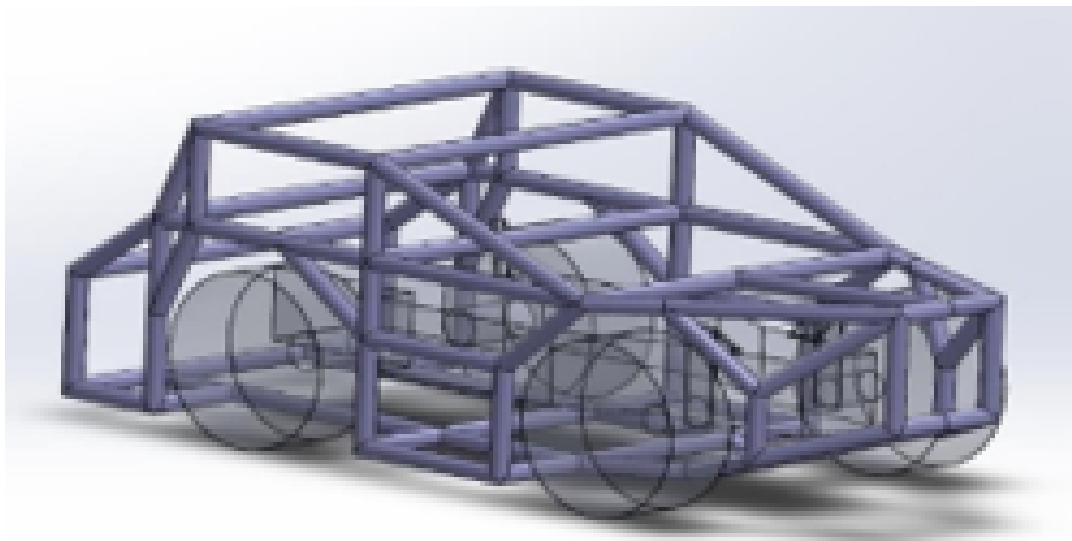
Este enfoque permite la integración de un frente más aerodinámico y curvo, inspirado en el diseño de una lancha motora. Con base a la Figura 2, se realiza el croquis 3D en el software SolidWorks. A este diseño se le asignan dimensiones y ángulos específicos para lograr un aspecto cada vez más cercano al de un buggy inspirado en el concepto de una lancha motora. El resultado se observa en la Figura 3.



**Figura 3** Diseño 3D en SolidWorks.

Se realiza una primera versión utilizando piezas soldadas, se trabaja con elementos tubulares para maximizar rigidez y disminuir peso. Previo al análisis, se modelan las piezas necesarias para la funcionalidad del prototipo (una aproximación al volumen que ocuparía las llantas, el sistema de potencia y dirección) con el fin de asegurar que los componentes encajen adecuadamente dentro de la estructura diseñada.

Se muestra el diseño en la Figura 4. La sección del elemento tubular propuesta tiene 6 mm de diámetro exterior y de 3mm de diámetro interior, dando un área de 0.000021205 metros cuadrados.



**Figura 4** Diseño utilizando la herramienta de piezas soldadas.

Los elementos se someten a cuatro análisis estáticos que simula el impacto de una caída de medio metro en las cuatro direcciones principales: frontal, trasera, inferior y superior. El procedimiento para determinar la fuerza aplicada fue el siguiente:

$$F = m \cdot a \quad (1)$$

Donde,  $F$  es la fuerza que generara el impacto,  $m$  es la masa del prototipo y  $a$  es la desaceleración.

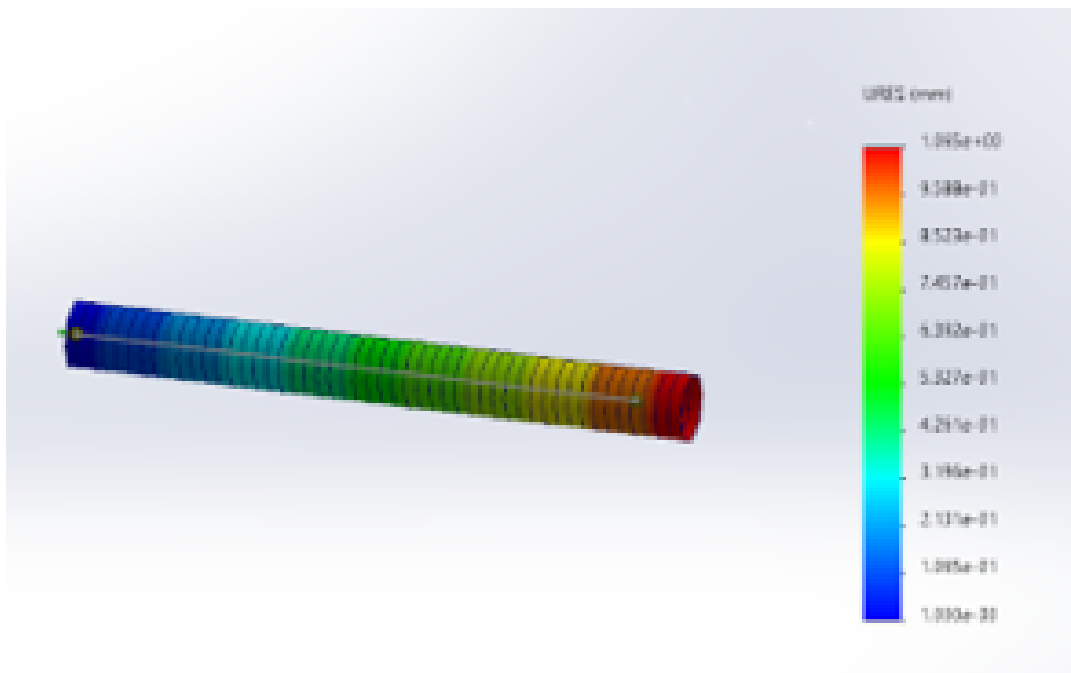
Para determinar la aceleración se aplica la siguiente formula proveniente de la cinemática, específicamente de la ecuación de movimiento uniformemente acelerado.

$$a = \frac{v^2}{2 \cdot d} \tag{2}$$

Donde,  $a$  es la desaceleración,  $v$  es la velocidad, y  $d$  la distancia de desaceleración, entonces se calcula la velocidad con la siguiente fórmula de caída libre, donde  $g$  es la gravedad de la tierra y  $h$  es la altura de la caída.

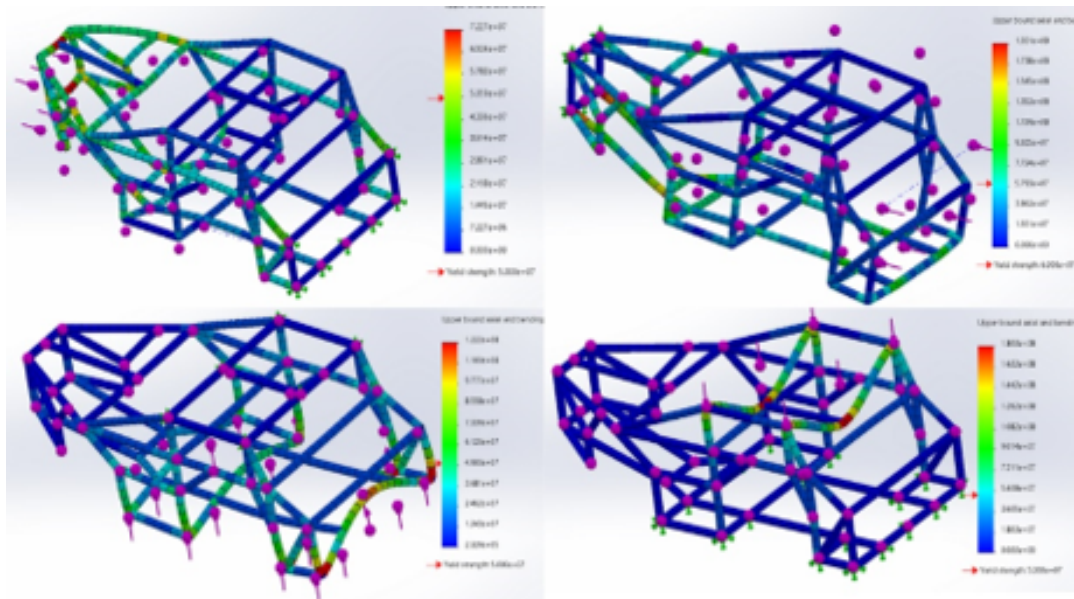
$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 0.5} \approx 3.13 \text{ m/s} \tag{3}$$

A continuación, se calcula la desaceleración del impacto. Para ello, es fundamental conocer las propiedades mecánicas del material y determinar su punto máximo de deformación sin exceder el límite elástico. Dado que el modelo será impreso en 3D, se ha seleccionado PLA (ácido poliláctico) como material principal, debido a su disponibilidad y facilidad de fabricación. Las propiedades mecánicas utilizadas en el análisis fueron obtenidas directamente de la página del fabricante y se presentan en la Figura 5.



**Figura 5 Propiedades del PLA usado.**

Dado que el material presenta un límite elástico de aproximadamente 50 MPa, este puede soportar una fuerza de 1151 N, considerando la sección transversal previamente mencionada. Al realizar un análisis estático con esta configuración, se obtiene una deformación de 1.065 mm, como se muestra en la Figura 6.



**Figura 6** Deformación del material antes de sobrepasar su límite elástico.

Obteniendo este dato se puede continuar con la ecuación.

$$a = \frac{v^2}{2 \cdot d} = \frac{(3.13)^2}{2 \cdot 0.001065} = \frac{9.81}{0.00213} \approx 4265.21 \text{ m/s}^2 \quad (4)$$

Una vez que se obtiene la aceleración, ahora solo es necesario obtener la masa, aunque la estructura de PLA pesara aproximadamente 140 gramos. Con base a la evaluación de SolidWorks, se considerarán 250 gramos por que falta incluir motor, llantas y electrónica. Teniendo así:

$$F = m \cdot a = 0.25 \cdot 4265.21 \approx 1151 \text{ N} \quad (5)$$

Obteniendo un valor final de 1040 newtons. Esta fuerza se distribuirá entre los nodos que estarán en contacto durante el impacto. Para cada análisis se aplican las cargas en los nodos adyacentes a la zona de impacto, mientras que los nodos de la cara opuesta inmediata se mantienen fijos para replicar las condiciones de impacto.

Al realizar los análisis se observa que existen ciertas concentraciones de esfuerzo sobrepasando el límite elástico como se muestra en la Figura 7. El esfuerzo máximo encontrado es de 122 MPa.

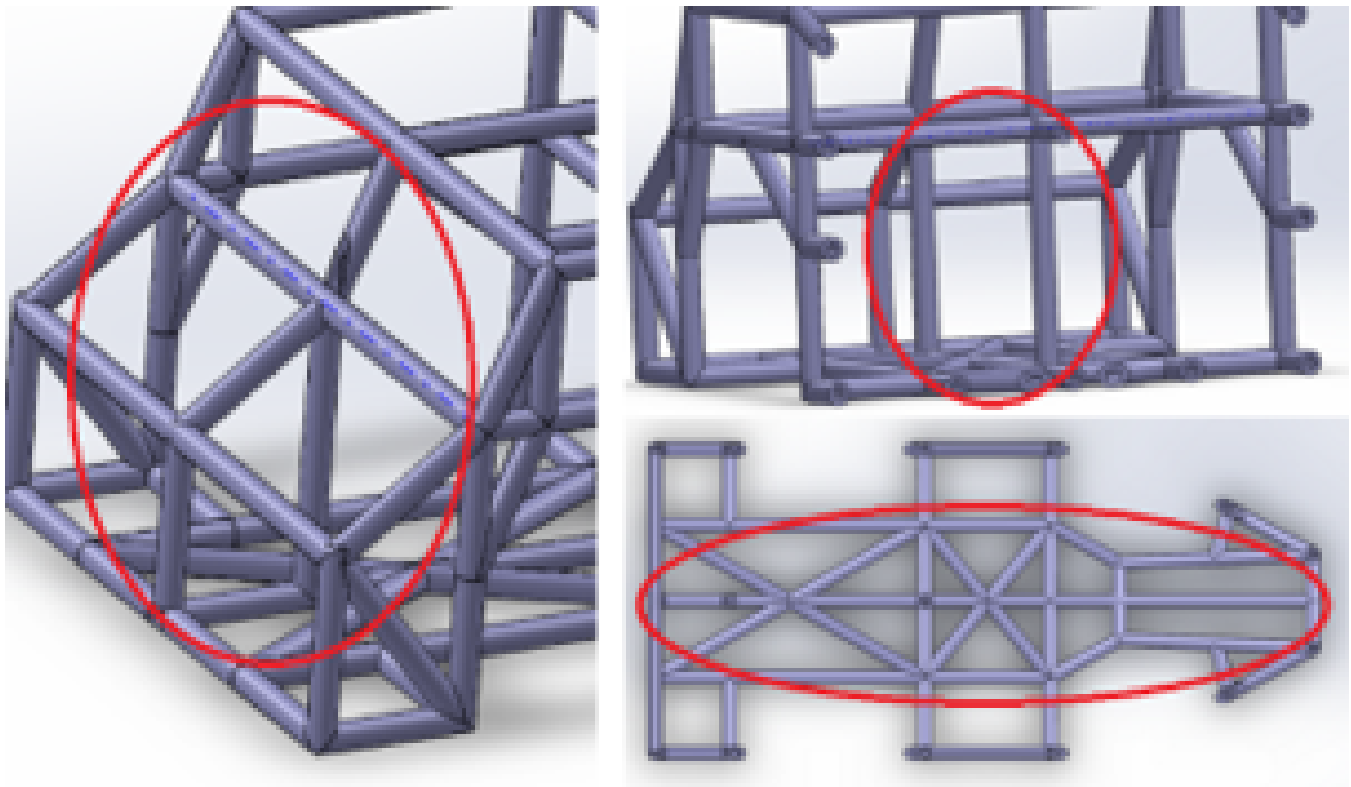


Figura 7 Análisis frontal, trasero, superior e inferior.

En la Figura 7, se observa que el modelo superó su límite elástico; por lo que, se agregan refuerzos en partes específicas para aumentar la resistencia, los cuatro primeros análisis son de suma importancia debido a que se muestran las posibles fallas estructurales, mostrando la necesidad de optimizar el prototipo. (Figura 8).

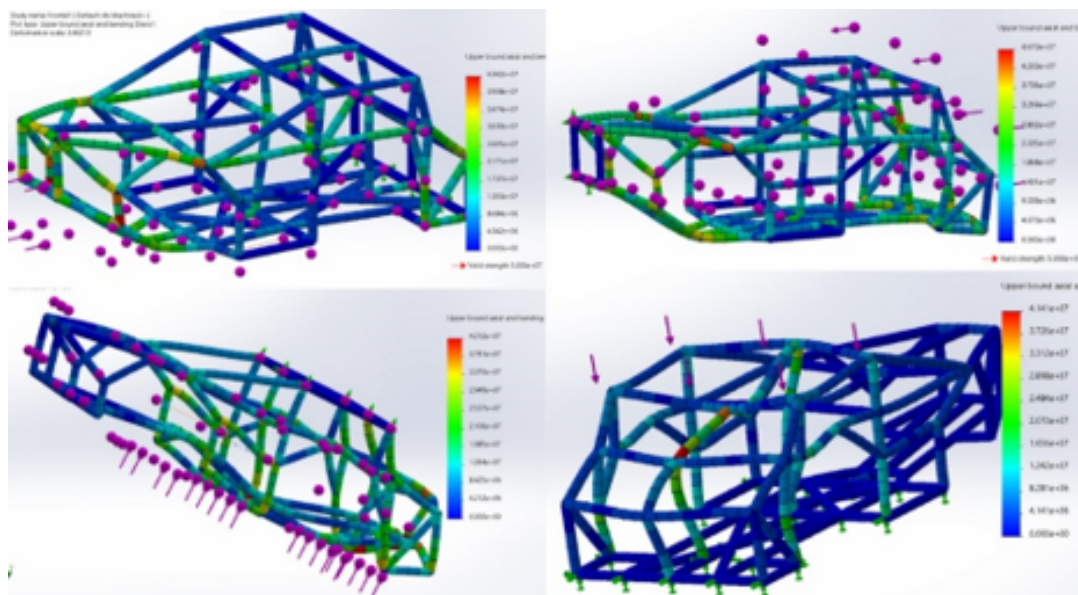


Figura 8 Refuerzos.

### 3. Resultados

Después de realizar la optimización a la estructura, se realizan nuevamente los estudios, esto se aprecia en la Figura 9.

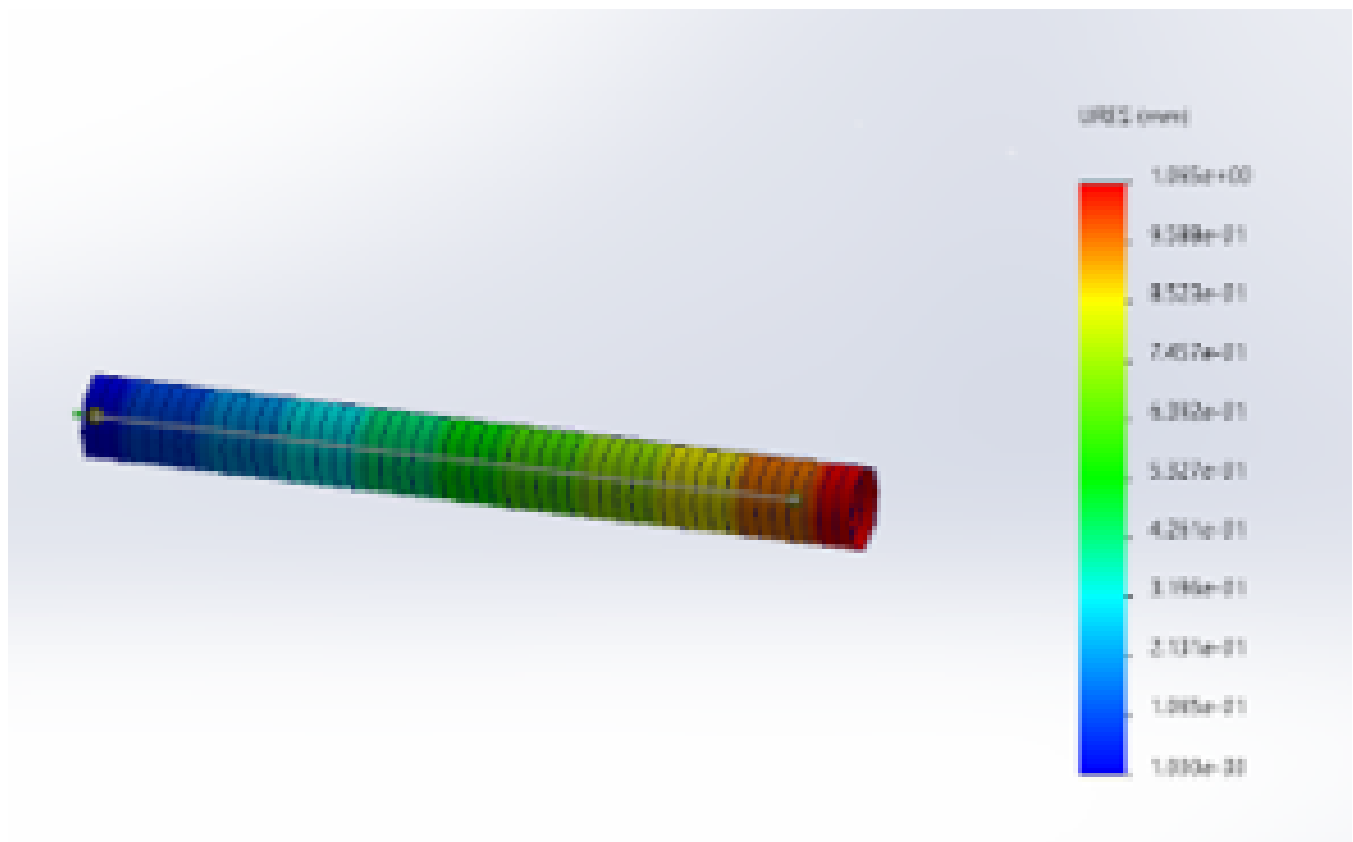


Figura 9 Estudios con la optimización realizada.

Debido a las modificaciones realizadas, en las cuatro evaluaciones (Análisis frontal, trasero, superior e inferior) muestran que ningún elemento de la estructura supera el límite elástico del material seleccionado, demostrando que las modificaciones fueron acertadas y el diseño de la estructura en general.

En la Tabla 1, se ilustran los resultados obtenidos en los análisis preliminares y los estudios después de realizar la optimización del chasis estructural.

Cuadro 1 Resultados de esfuerzos.

Simulación en:	Esfuerzo máximo en primer análisis (MPa).	Esfuerzo máximo en análisis post modificaciones (MPa).
Parte delantera	72.3	43.4
Parte trasera	193	46.7
Parte superior	180	41.4
Parte inferior	122	42

### 4. Conclusiones

El boceto inicial del prototipo en el que no se emplea alguna técnica de creatividad, lleva a realizar un diseño de las formas de vehículos comunes. Al emplear la técnica de creatividad denominada relaciones forzadas, se identifica una variación clara en la propuesta de diseño del vehículo.

En el estudio con la propuesta inicial de diseño, se identificaron varios elementos estructurales que sobrepasan el esfuerzo máximo del material. Después de realizar la optimización de la estructura, los esfuerzos

en la zona identificada disminuyeron considerablemente.

Si bien en condiciones reales los impactos no ocurren de manera perfectamente perpendicular en una sola dirección, los resultados indican que el diseño presenta una rigidez estructural uniforme. Esto valida su viabilidad como prototipo funcional para su aplicación en ciertos escenarios.

## Referencias

1. Aguayo, F. y Soltero, V. (2002). *Metodología del diseño industrial: un enfoque desde la ingeniería concurrente*. Editorial Alfaomega ISBN: 9701509161.
2. Galindo R.V. (2009, diciembre). Creatividad en el diseño industrial. Experiencias con dos técnicas creativas. *Revista digital Universitaria* V.10 N.12 ISSN: 1067-6079.
3. Riley, W. Sturges, L. y Morris, D. (2007). *Mechanics of Materials*. Editorial Johnwiley & Sons, INC.
4. Ultimaker (2017, febrero 28). Technical Datasheet PLA. Recuperado: octubre 15, 2024, de <https://www.farnell.com/datasheets/2310522.pdf>