



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

Optimización topológica de un chasis tubular para vehículo  
eléctrico biplaza

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

Autores

Edisson Andrés Espinoza Naula  
Santiago Xavier Román Quevedo

Director

Ing. David Reyes MSc.

CUENCA – ECUADOR

2021

## **Dedicatoria**

Quiero agradecer a Dios por haberme dado la fortaleza y la bendición para concluir mi carrera universitaria, de igual manera quiero agradecer con todo mi corazón a mis padres Jacinto y Yolanda por haber estado conmigo en todo momento, este triunfo y sueño al igual que mío es de ellos ya que sin su cariño, amor, apoyo y bendición no lo hubiese logrado, el amor que me han brindado cada día me protege y me lleva por el camino del bien, es por ello que este trabajo como ofrenda por su paciencia y amor, los amo padres. De igual manera quiero agradecer a mi novia, hermanos, abuelitos, cuñadas y sobrinos que de una u otra manera fueron parte importante durante todo este proceso, A mi familiares y amigos por su apoyo; finalmente agradecer a los docentes de IMA por el excelente trabajo que realizaron a lo largo de mi carrera universitaria.

**Edisson Andrés Espinoza Naula.**

## **Dedicatoria**

Quiero agradecer a Dios y a la Virgen del Cisne por darme la fuerza y la fortaleza cada día para salir adelante, a mis padres Orli y Sandra a mis abuelitas Teotista y Mercedes que estuvieron en todo momento, velando por mi bienestar siendo el pilar fundamental y el apoyo más grande de mi vida, que con su amor, trabajo y sacrificio dieron todo de si, para que yo cumpla este tan apreciado anhelo, a mi novia Mishell que estuvo a mi lado brindándome su apoyo moral a lo largo de esta etapa, a mis hermanos, amigos y a toda mi familia que a la distancia me daban su voz de aliento.

**Santiago Xavier Román Quevedo**

## **Agradecimientos**

Primeramente, agradecemos a Dios y a la Virgen por permitirnos terminar nuestros estudios y cumplir este sueño tan anhelado el cual tuvo un largo y duro camino, de igual manera agradecemos a nuestros padres por su apoyo incondicional durante todo este proceso, a la universidad por todas las oportunidades que nos ha brindado, de igual manera a la escuela de Ingeniería Automotriz y a sus docentes por sus enseñanzas y conocimientos compartidos, finalmente agradecemos al Ing. Robert Rockwood director del proyecto y al Ing. David Reyes director de nuestro proyecto, quienes nos supieron guiar para conseguir nuestro objetivo y culminar nuestro proyecto con éxito.

**Edisson Andrés Espinoza Naula**

**Santiago Xavier Román Quevedo**

# OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA DE UN CHASIS TUBULAR PARA VEHÍCULO ELÉCTRICO BIPLAZA

## Resumen

Este estudio presenta la optimización topológica de un chasis tubular para un vehículo eléctrico biplaza. La geometría inicial se tomó en base a las dimensiones de largo y ancho del vehículo Chok G2 y para el modelo exterior el vehículo Atom2, debido a que se tiene proyectado ensamblar partes del vehículo Chok G2 al nuevo chasis, se procedió a crear la malla e identificar zonas de diseño y no diseño, cumpliendo con las condiciones de contorno establecidas en dos estudios previos de la misma unidad de titulación: 1. “Análisis de modelo de carga sobre la estructura tubular de un vehículo eléctrico biplaza mediante simulación computacional” y 2. “Determinación geométrica del sistema de suspensión para un vehículo eléctrico biplaza”. Aplicando estas restricciones, se realizó la optimización topológica mediante el software Hypermesh™, obteniendo un chasis de estructura tubular con una masa de 240 kg y un factor de seguridad de 1.98.

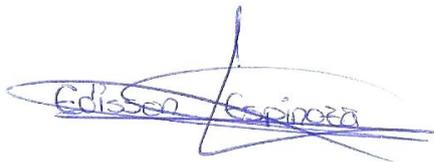
**Palabras clave**—Chasis tubular, optimización topológica, reducción de masa.



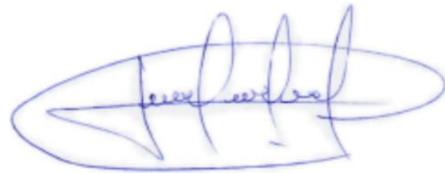
.....  
Ing. David Reyes Jiménez MSc.  
Director del trabajo de titulación



.....  
Ing. Robert Rockwood Iglesias MSc.  
Coordinador de escuela



.....  
Edison Espinoza Naula  
Autor



.....  
Santiago Román Quevedo  
Autor

# TOPOLOGICAL OPTIMIZATION OF A TUBULAR CHASSIS FOR TWO-SEATER ELECTRIC VEHICLE

## Abstract

This research presents the topological optimization of a tubular chassis for a two-seater electric vehicle. The initial geometry was taken based on the length and width dimensions of the Chok G2 vehicle and for the exterior model the Atom2 vehicle because it is planned to assemble parts of the Chok G2 vehicle to the new chassis. As part of this research, the mesh was created to identify design and not design zones, complying with the boundary conditions established in two previous studies of the same graduation unit: 1. "Analysis of load model on the tubular structure of a two-seater electric vehicle by means of computational simulation" and 2. "Geometric determination of the suspension system for a two-seater electric vehicle". By applying these constraints, a topological optimization was performed by using Hypermesh™ software. A tubular structure chassis with a mass of 240 kg and a safety factor of 1.98 was obtained.

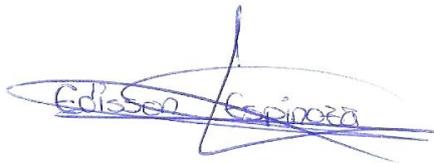
**Keywords**—Tubular chassis, topological optimization, mass reduction.



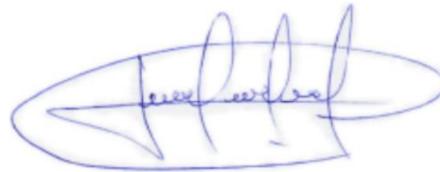
.....  
Ing. David Reyes Jiménez MSc.  
Director del trabajo de titulación



.....  
Ing. Robert Rockwood Iglesias MSc.  
Coordinador de escuela

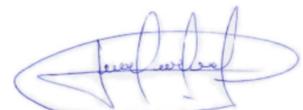


.....  
Edison Espinoza Naula  
**Autor**



.....  
Santiago Román Quevedo  
**Autor**

Translated by



Edison Espinoza Naula and Santiago Román

# Optimización topológica de un chasis tubular para vehículo eléctrico biplaza

David Reyes Jiménez

Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Ingeniería Mecánica Automotriz

Cuenca, Ecuador

dareyes@uazuay.edu.ec

Edisson Espinoza Naula

Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Ingeniería Mecánica Automotriz

Cuenca, Ecuador

edisson\_espinoza@es.uazuay.edu.ec

Santiago Román Quevedo

Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Ingeniería Mecánica Automotriz

Cuenca, Ecuador

santiagoroman@es.uazuay.edu.ec

**Resumen**— Este estudio presenta la optimización topológica de un chasis tubular para un vehículo eléctrico biplaza. La geometría inicial se tomó en base a las dimensiones de largo y ancho del vehículo Chok G2 y para el modelo exterior del vehículo Atom2, debido a que se tiene proyectado ensamblar partes del vehículo Chok G2 al nuevo chasis, se procedió a crear la malla e identificar zonas de diseño y no diseño, cumpliendo con las condiciones de contorno establecidas en dos estudios previos de la misma unidad de titulación: 1. “Análisis de modelo de carga sobre la estructura tubular de un vehículo eléctrico biplaza mediante simulación computacional” y 2. “Determinación geométrica del sistema de suspensión para un vehículo eléctrico biplaza”. Aplicando estas restricciones, se realizó la optimización topológica mediante el software Hypermesh™, obteniendo un chasis de estructura tubular con una masa de 240 kg y un factor de seguridad de 1.98.

**Palabras clave**— chasis tubular, optimización topológica, reducción de masa.

**Abstract**— This research presents the topological optimization of a tubular chassis for a two-seater electric vehicle. The initial geometry was taken based on the length and width dimensions of the Chok G2 vehicle and for the exterior model the Atom2 vehicle, because it is planned to assemble parts of the Chok G2 vehicle to the new chassis; we proceeded to create the mesh and identify design and not design zones, complying with the boundary conditions established in two previous studies of the same graduation unit: 1. "Analysis of load model on the tubular structure of a two-seater electric vehicle by means of computational simulation" and 2. "Geometric determination of the suspension system for a two-seater electric vehicle". Applying these constraints, topological optimization was performed using Hypermesh™ software, obtaining a tubular structure chassis with a mass of 240 kg and a safety factor of 1.98.

**Keywords**— tubular chassis, topological optimization, mass reduction.

## I. INTRODUCCIÓN

En la industria automotriz en la actualidad es muy aplicable la utilización de tecnología CAE debido a la necesidad de reducir los costos de fabricación, generar productos de alta calidad y seguridad. Mediante la

implementación de programas CAE es posible ejecutar algoritmos de optimización [1], uno de estos procesos es la optimización topológica que permite disminuir la masa de un chasis, manteniendo su rigidez estructural, seguridad y rendimiento [2]. Al implementar esta tecnología se puede reducir el porcentaje de masa inicial de un componente desde un 40% hasta un 70% dependiendo del método de fabricación [3]. La optimización topológica puede ser aplicada a distintos ámbitos como puede ser el área aeroespacial, automotriz, obras de infraestructura, entre otros [4].

Se han realizado varios análisis topológicos en diversos trabajos, utilizando diferentes metodologías, como por ejemplo, en el ámbito internacional, en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Valladolid en el año 2017, se planteó obtener un chasis monoplaza fórmula *student*, aplicando técnicas de optimización topológica a una geometría inicial maciza, como resultado del desarrollo de esta investigación, se obtuvo un chasis tubular con un factor de seguridad de 2 y una masa de 56 Kg cumpliendo con todos los requisitos mínimos funcionales [5].

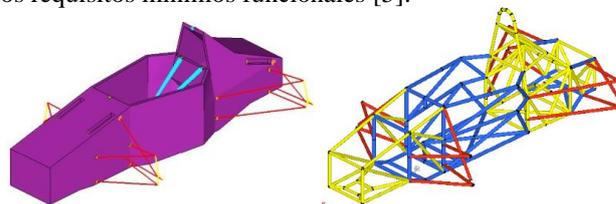


Fig. 1 Optimización topológica chasis tubular formula *student*. [5]

A nivel nacional, en la ciudad de Quito en el año 2019, la Universidad Internacional SEK y la Universidad Tecnológica Equinoccial, utilizaron técnicas de optimización topológica aplicadas a un chasis de una motocicleta de competencia, comprobaron si los valores de desplazamiento, factor de seguridad y deformación, se encontraban dentro del rango de tolerancia del material original del chasis. La masa inicial del chasis fue de 4074.02g con un factor de seguridad de 2.498 y aplicando este método se obtuvo como resultado un chasis cuya masa fue de 2754.05 g con un factor de seguridad de 1,41 reduciendo el 67.6 % de masa sin comprometer las propiedades mecánicas del material [6].

En el medio local, la Escuela de Ingeniería en Mecánica Automotriz de la Universidad del Azuay en el año 2016, planteó optimizar el bastidor de la motocicleta eléctrica Kuntur a través de técnicas de optimización topológica, esta motocicleta ya ha sido valorada mediante pruebas físicas de funcionamiento en la competición “*Smartmoto Challenge*” Barcelona 2014 obteniendo el primer lugar en las pruebas dinámicas, mediante la optimización realizada aspiró a aumentar la eficiencia energética con la reducción de masa

del bastidor. El peso de la motocicleta con el bastidor original fue de 80 Kg y con el bastidor optimizado fue de 78.2 kg, el resultado de esta investigación obtuvo una reducción de masa del 2.25% del peso total de la motocicleta [7].



Fig. 2 Chasis optimizado motocicleta Kuntur. [7]

El objetivo del presente estudio es diseñar un chasis tubular para un vehículo eléctrico biplaza mediante optimización topológica, en el cual, se aplicaron las condiciones de contorno establecidas en estudios previos. Se lo realizó en Autodesk® Inventor® para generar la geometría inicial del chasis y Altair Hypermesh™ para la optimización topológica.

Obtenidos los resultados, se rediseñó la geometría final a parámetros ortogonales, es decir que al realizarse una estructura triangular los caminos de carga deben coincidir en un mismo punto, de tal manera que se consiga una estructura rígida. Por último, se realizó un nuevo análisis estático para verificar el factor de seguridad del nuevo chasis, permitiendo definir el diseño adecuado.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología está dividida en 9 fases:

- A.- Modelación de la geometría inicial.
- B.- Condiciones de contorno.
- C.- Creación de elementos finitos.
- D.- Material.
- E.- Casos de carga.
- F.- Aplicación de técnicas de optimización.
- G.- Post - procesado.
- H.- Modelado del chasis tubular.
- I.- Validación de propuesta de diseño mediante elementos finitos.

### A. Modelación de la geometría inicial

El modelo CAD se basa en los datos de “Análisis de los modelos de carga sobre la estructura tubular de un vehículo eléctrico biplaza mediante simulación computacional”, expuestas en la Tabla I. Se tuvo en cuenta los apoyos de la suspensión, el espacio reservado para los ocupantes del vehículo, espacios para el motor eléctrico, baterías eléctricas y componentes de transmisión. Para la creación de las superficies se utilizó Autodesk® Inventor®, se partió de bocetos en 2D y modelo 3D, sobre la geometría inicial presentada en el trabajo antes mencionado.

TABLA I. MEDIDAS GENERALES DEL VEHÍCULO [8]

Medidas del vehículo		
	Valor	Unidad
Largo	3214	mm
Ancho	1446	mm

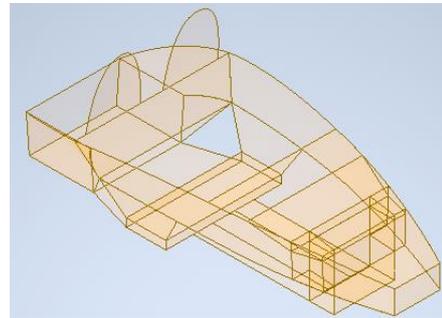


Fig. 3 Geometría inicial del chasis.

### B. Condiciones de contorno

En la terminología de optimización [9] se debe contar con “variables del diseño” siendo utilizados durante la optimización topológica. Uno de estos es el “espacio de diseño”, en el cual contamos con secciones que se pueden modificar durante el proceso, también se contó con “espacios de no diseño”, siendo parámetros que no se pueden modificar. Estas variables se encuentran diferenciadas por colores; el color violeta identifica las zonas de diseño, el color azul diferencia las zonas de no diseño, estas serán los largueros que dan la forma a la geometría del chasis y por último de color rojo que son los puntos de anclaje de la suspensión, siendo esta también una zona de no diseño como se observa en la Figura. 4.

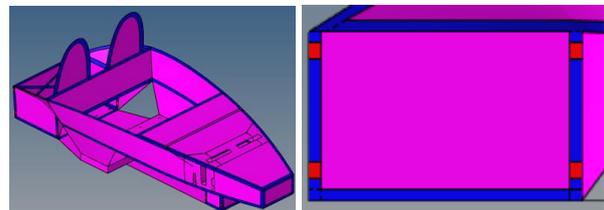


Fig. 4 Elementos de diseño y no diseño.

### C. Creación de elementos finitos

El método de elementos finitos puede ser definido como una técnica numérica utilizada para obtener una solución aproximada de un problema de ingeniería. Este método permite utilizar elementos de diversas geometrías tales como; triángulos, rectángulos o cuadriláteros en 2D o elementos hexaédricos en 3D [10]. El mallado es un paso crucial en el análisis de diseño, lo más conveniente es el empleo de una malla con elementos del mismo tipo, es decir, crear una malla uniforme. Un mallado no uniforme solo se empleará en aquellas zonas de transición o en regiones de geometría más compleja.

Para la creación de los elementos finitos se utilizó una malla uniforme en 2D de 5mm con una forma cuadrada, Figura 5 y se obtuvo la siguiente calidad de los elementos finitos Tabla II.

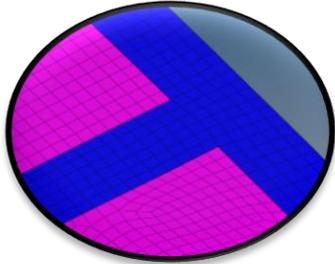
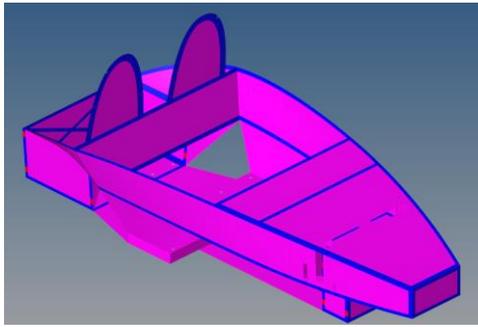


Fig. 5 Malla de elementos finitos.

TABLA II. PROPIEDADES Y CALIDAD DE LOS ELEMENTOS FINITOS

Número de elementos		363707	
Tipo de elementos		Elemento <i>Pshell</i> de primer orden	
Warpage >	5	15/363707	0%
Aspect >	5	0/363707	0%
Skew >	60	0/363707	0%
Chord squish >	0.1	148/363707	0%
Cell squish >	0.5	0/363707	0%
Length <	3.75	5123/363707	1.4%
Length >	10	0/363707	0%
Jacobian <	0.7	1665/363707	0.5%
Equia skew >	0.6	0/363707	0%
Taper	0.5	0/363707	0%

La tabla II indica valores que son importantes para verificar la calidad de la malla, estos no deben superar los valores establecidos por defecto en el software Altair Hypermesh™, caso contrario no permitiría realizar el proceso de optimización, debido a que la cantidad de elementos finitos que presentan error supera al porcentaje establecido.

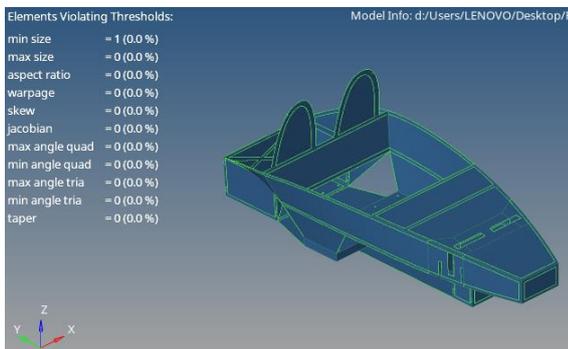


Fig. 6 Análisis de elementos finitos.

#### D. Material

El material utilizado fue el acero ASTM A36 con las siguientes propiedades mecánicas.

TABLA III. PROPIEDADES DEL ACERO ASTM A36 [11]

Acero		
Propiedades mecánicas	Valor	Unidad
Módulo de fluencia	250	MPa
Módulo de elasticidad	200	GPa
Propiedad física		
Densidad	7850	kg/m <sup>3</sup>

#### E. Casos de carga

Para el diseño del chasis de un vehículo se tiene en cuenta dos aspectos: la rigidez a flexión y la rigidez a torsión. La primera se refiere a cuanto se deforma un chasis debido al peso de los diferentes elementos que conforman el vehículo, mientras que, la segunda se refiere a cuanto se deforma un chasis debido a una carga asimétrica, un ejemplo práctico puede ser, cuando una de las ruedas delanteras pasa por un bache [12].

Para el presente trabajo se aplicaron los casos de carga presentados en “Análisis de los modelos de carga sobre la estructura tubular de un vehículo eléctrico biplaza mediante simulación computacional” y se los describe en las siguientes tablas.

TABLA IV. CASO DE CARGA – FLEXIÓN [8].

	Puntos de anclaje	Peso [Kg]	Fuerza total [N]	Fuerza en cada punto de anclaje [N]
Pack de baterías 1	8	104	1020.24	127.53
Pack de baterías 2	16	208	2040.48	127.53
Motor eléctrico y controlador	4	30	294.30	73.58
Piloto y copiloto	8	188.4	1848.20	231.03
Elementos de dirección	4	18	176.58	44.15

TABLA V. CASO DE CARGA – TORSIÓN [8].

	Longitud [m]	Fuerza [N]
Nodo 1	0.176	-1221.5
Nodo 2	0.176	-1221.5
Nodo 3	0.176	-1221.5
Nodo 4	0.176	-1221.5
Nodo 5	0.176	1221.5
Nodo 6	0.176	1221.5
Nodo 7	0.176	1221.5
Nodo 8	0.176	1221.5

TABLA VI. CASO DE CARGA – ACELERACIÓN [8].

	Puntos de anclaje	Peso [Kg]	Fuerza total [N]	Fuerza en cada punto de anclaje [N]
Pack de baterías 1	8	104	666.64	83.33
Pack de baterías 2	16	208	1333.28	83.33
Motor eléctrico y controlador	4	30	192.3	48.08
Piloto y copiloto	8	188.4	1207.64	150.96
Elementos de la dirección	4	18	115.38	28.85

TABLA VII. CASO DE CARGA - EN FRENO [8].

	Puntos de anclaje	Peso [Kg]	Fuerza total [N]	Fuerza en cada punto de anclaje [N]
Pack de baterías 1	8	104	1604.72	200.59
Pack de baterías 2	16	208	3209.44	200.59
Motor eléctrico y controlador	4	30	462.90	115.73
Piloto y copiloto	8	188.4	2907.01	363.38
Elementos de la dirección	4	18	277.74	69.44

TABLA VIII. CASO DE CARGA - EN CURVA [8].

	Puntos de anclaje	Peso [Kg]	Fuerza total [N]	Fuerza en cada punto de anclaje [N]
Pack de baterías 1	8	104	2228.7	278.59
Pack de baterías 2	16	208	4457.4	278.59
Motor eléctrico y controlador	4	30	642.9	160.73
Piloto y copiloto	8	188.4	4037.4	504.68
Elementos de la dirección	4	18	385.74	96.44

### F. Aplicación de técnicas de optimización

La optimización topológica permite disminuir la masa del chasis manteniendo su rigidez estructural, utilizando herramientas computacionales se disminuye los riesgos de pérdidas de tiempos y materiales al disminuir los costos de inversión [13].

En esta fase de optimización se definieron los siguientes parámetros:

#### 1) Control de tamaño del elemento (*mindim*)

Se refiere al control de la dimensión más pequeña que se requiere en la topología de diseño. Se recomienda para la variable un valor que cumpla:  $3 < \text{MINDIM} < 12$  veces el tamaño del elemento [14]. Para el presente trabajo se utilizó un valor de 10, debido a que, al utilizar elementos de 5mm se obtiene un valor total de 50 mm, siendo esta medida similar al diámetro de los tubos a utilizar.

#### 2) Condición de simetría

En la restricción del espacio de trabajo en donde la masa del componente será redistribuida, se empleó el tipo de condición de simetría, esto ayudó a que se genere de mejor forma una geometría continua y simétrica en los resultados [15], siendo en este caso la simetría aplicada en el plano “y-z”, con esto se obtuvo un resultado igual con respecto a los caminos de carga generados en la parte izquierda y derecha del chasis.

#### 3) Respuestas de diseño

En el proceso de optimización topológica se indicó las respuestas que se analizará en el modelo, estas variables de control se establecen en el proceso de simulación. Como primer tipo de respuesta de diseño se denomina “*Weighted-Compliance*”, esta función nos permite utilizar varios casos

de carga durante la optimización topológica, así mismo, darle una mayor importancia a un caso de carga crítico.

El segundo tipo de respuesta de diseño a ser controlada será el volumen “*Volumefrac*”, aplicándose a todos los elementos que forman parte del grupo del espacio de diseño en donde se realizará la optimización.

#### 4) Objetivo

La función objetivo es una respuesta del modelo que debe maximizar o minimizar, en este caso, el objetivo es minimizar la cantidad de energía de deformación que se genera en la estructura, minimizar “*Weighted-Compliance*”, a través de este objetivo lo que buscamos es maximizar la rigidez de la estructura.

#### 5) Restricciones según respuestas de diseño

Determina que se cumplan los objetivos de optimización mediante restricciones basadas en las respuestas de diseño previamente establecidas. Para este estudio se emplea una restricción indicando al programa que trabaje con el 30% del material de la zona de diseño.

#### 6) Post-Procesado

En esta fase del diseño del post procesado, lo que se debe definir son las posiciones de las barras que conformaran el chasis. El primer paso fue obtener los puntos de los extremos de las barras que conforman la estructura, luego se unió los puntos mediante líneas, generando la estructura de barras, en la que únicamente podemos distinguir las zonas más significativas del chasis.

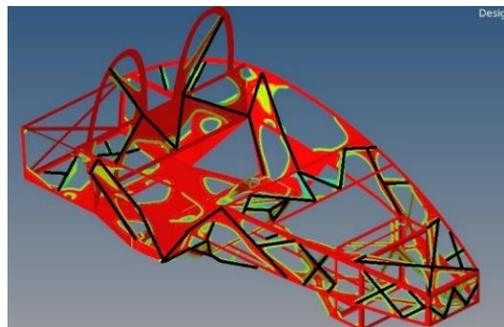


Fig. 7 Obtención del esquema alámbrico que conformara el chasis.

#### G. Modelo chasis tubular

En el programa CAD se modeló el esquema alámbrico obtenido en el Post procesado. A partir de este esquema se insertó la estructura que permitió generar barras con diferentes perfiles comerciales, en este caso utilizamos tubos DIN EN 10305-2 con dimensiones 50x3.

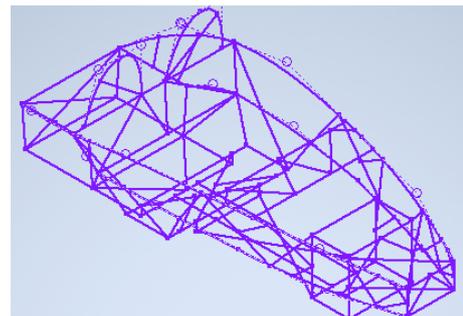


Fig. 8 Esquema alámbrico modelado en Autodesk® Inventor®.

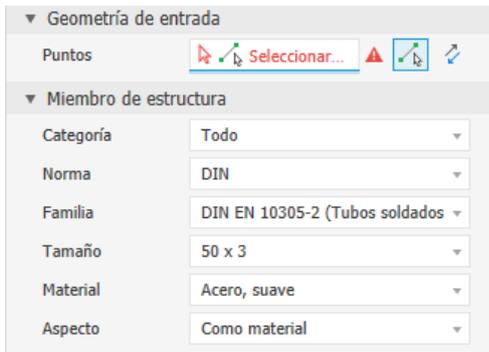


Fig. 9 Selector de perfiles en Autodesk® Inventor®.

Cuando se generó la estructura tubular en Autodesk® Inventor®, las uniones tuvieron forma similar a la reflejada en la “Fig. 10”. Mediante las herramientas *miter* y *notch* se obtuvo uniones que no presenten interferencias, de manera que no se produzcan problemas al momento de generar la malla. Finalmente se ensambló los soportes de la suspensión analizados en “Determinación geométrica del sistema de suspensión para un vehículo eléctrico biplaza”[16], realizado por otro grupo del proyecto.

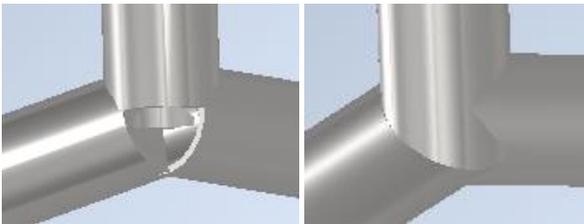


Fig. 10 Detalle de la unión entre los tubos.

#### H. Validación de propuesta de diseño mediante elementos finitos.

De acuerdo con lo existente a la fecha del estudio, se ha impuesto un material ASTM A36 con un diámetro de 50mm y un espesor de 3mm que conformara la estructura tubular. Para la chapa metálica y los soportes de la suspensión, se utilizó un material ASTM A36 con un espesor de 4mm y 6mm respectivamente.

El chasis tubular ha sido analizado en el software Altair Hypermesh™ y utilizando elementos 2D tipo *PSHELL*, con una malla uniforme en forma cuadrada.

##### 1) Cargas y restricciones

Para realizar la validación de la propuesta del chasis tubular se colocaron las cargas y restricciones utilizados en el proceso de optimización topológica, de igual manera estas fueron aplicadas en los mismos puntos del proceso antes mencionado.

##### 2) Resultados de los esfuerzos de VonMises y desplazamiento

El esfuerzo de VonMises se usa para predecir el rendimiento de materiales bajo cargas complejas a partir de los resultados de las diferentes pruebas. El desplazamiento es la flexión que se produce en la estructura debido a las cargas en que está sometida[17].

##### a) Caso de carga flexión

Este análisis tiene un resultado de esfuerzo VonMises máximo de 52MPa como se observa en la “Fig. 11” y un desplazamiento de 0.2mm

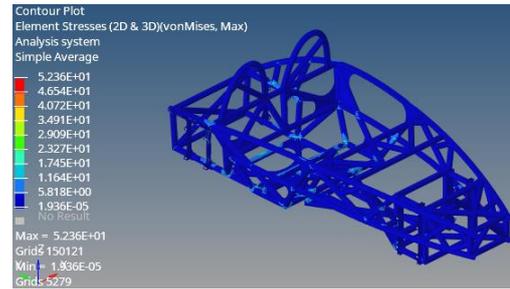


Fig. 11 Resultado caso de carga flexión.

En donde el factor de seguridad es:

$$\eta_F = \frac{S_y}{\sigma_{max}} \quad (1)$$

$$\eta_F = \frac{250MPa}{52MPa}$$

$$\eta_F = 4.80$$

##### b) Caso de carga en curva

En este caso se obtuvo un resultado de esfuerzo de VonMises máximo de 117MPa como se observa en la “Fig.12” y un desplazamiento de 0.3mm

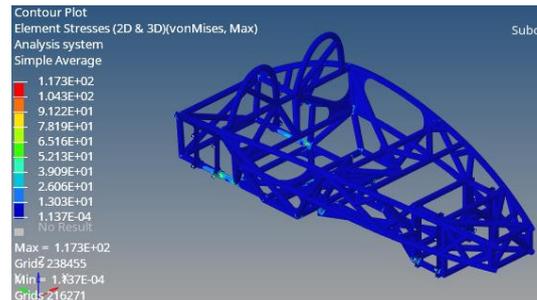


Fig. 12 Resultado de carga en curva.

En donde el factor de seguridad es:

$$\eta_C = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

$$\eta_C = \frac{250MPa}{117MPa}$$

$$\eta_C = 2.13$$

##### c) Caso de carga en aceleración

En el presente caso de carga como resultado se obtuvo un esfuerzo de VonMises máximo de 47MPa como se observa en la “Fig. 13” y un desplazamiento de 0.06mm.

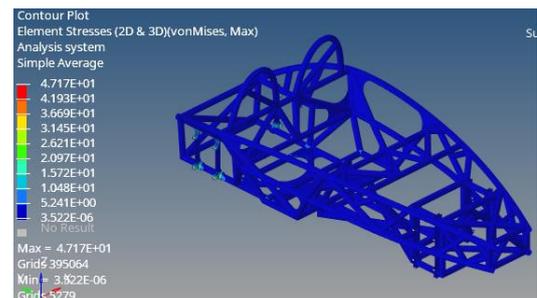


Fig. 13 Resultado caso de carga en aceleración.

En donde el factor de seguridad es:

$$\eta_A = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

$$\eta_A = \frac{250MPa}{47MPa}$$

$$\eta_A = 5.32$$

#### d) Caso de carga en freno

Este análisis tiene un resultado de esfuerzo de VonMises máximo de 113MPa como se observa en la “Fig.14” y un desplazamiento de 0.1mm

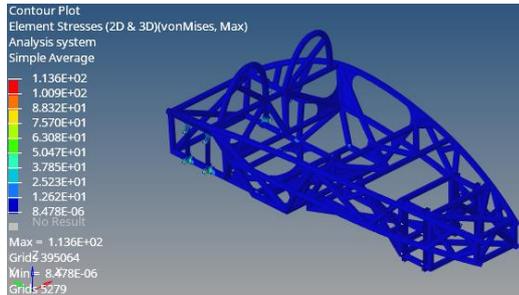


Fig. 14 Resultado caso de carga en freno.

En donde el factor de seguridad es:

$$\eta_{Fr} = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

$$\eta_{Fr} = \frac{250MPa}{113MPa}$$

$$\eta_{Fr} = 2.21$$

#### e) Caso de carga torsión

En el presente caso de carga como resultado se obtuvo un esfuerzo de VonMises máximo de 126 MPa como se observa en la “Fig. 15” y un desplazamiento de 2.58mm.

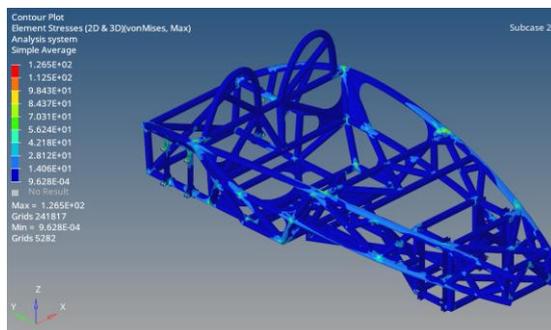


Fig. 15 Resultado caso de carga en torsión.

En donde el factor de seguridad es:

$$\eta_T = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

$$\eta_T = \frac{250MPa}{126MPa}$$

$$\eta_T = 1.98$$

### III. RESULTADOS

- Con la aplicación de técnicas de optimización topológica se generó una propuesta de chasis tubular el cual tiene un factor de seguridad mínimo de 1.98.

### IV. CONCLUSIONES

- Se validó la metodología generando un rectángulo, cuyas medidas se obtuvo al sacar la media de los espacios del habitáculo y espacios donde se localizan las baterías. Se aplicó la técnica de optimización topológica utilizando diferentes tipos de malla, las cuales fueron: elementos 2D tipo *Pshell*, malla *tetramesh* elementos 3D con forma de tetras y malla *Hexmesh* elementos 3D con forma de cubo. Contrastando los diferentes resultados se optó por utilizar una malla 2D tipo *Pshell* para realizar el proceso de optimización topológica, debido a que proyectó mejores resultados ahorrando costo computacional.
- Se generó la geometría inicial del chasis respetando los espacios del habitáculo, zonas de anclaje de suspensión y espacios donde se instalarían las baterías eléctricas. Posterior a ello, se aplicaron las condiciones de contorno definiendo las zonas de diseño y no diseño, dentro de la zona de no diseño se encuentran los puntos de anclaje de la suspensión, de tal manera que se las ubicó en los lugares correctos debido a que simulan condiciones reales de funcionamiento. Se aconseja no emplear geometrías complejas con la finalidad de evitar que se produzcan errores de proceso al instante de realizar la malla sobre las superficies.
- Se realizó el proceso de optimización topológica en el software Altair Hypermesh™ con un porcentaje de 30% del material de la zona de diseño, obteniendo una estructura la cual tuvo que ser rediseñada con la finalidad de determinar de mejor manera los caminos de carga que conformaran el chasis.
- Se ejecutó un nuevo análisis estático mediante elementos finitos sobre la nueva estructura tubular del chasis obteniendo un factor de seguridad de 1.98 y una masa total de 240 kg.

### V. REFERENCIAS

- [1] F. F. Oña Simbaña y H. F. Peña Morejón, «Diseño y construcción de un chasis desarmable para un vehículo solar de competencia por medio de optimización topológica.», jul. 2019, Accedido: jul. 04, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/13556>
- [2] P. A. Calle Calderón y E. S. Cumbe Fárez, «Análisis del diseño estructural y los procesos de producción de aros para vehículos livianos», 2017, Accedido: oct. 12, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6841>
- [3] J. Manso Agúndez, «Análisis y optimización topológica de un chasis para Formula Student», 2019, Accedido: oct. 12, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/37839>
- [4] C. Silvestre Gomez, «Diseño y optimización topológica de rockers para un modelo de Formula

- Student», 2017, Accedido: oct. 12, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://idus.us.es/handle/11441/65528>
- [5] S. Monge Francés, «Diseño y optimización del chasis de un monoplaza Formula Student mediante el método de elementos finitos», 2017, Accedido: jul. 04, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/25585>
- [6] E. Reinares Gozalo, «Diseño del chasis de una motocicleta de competición», 2018, Accedido: oct. 12, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/25683>
- [7] P. J. Ochoa Palacios y V. A. Salamea González, «Optimización del chasis de la motocicleta “KUNTUR”, mediante el uso de un programa computacional “CAE”», 2016, Accedido: jul. 04, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5207>
- [8] P. Cuesta y A. Narvaez, «Análisis de los modelos de carga sobre la estructura tubular de un vehículo eléctrico biplaza mediante simulación computacional», 2021.
- [9] «Free eBook: Practical Aspects of Structural Optimization with Altair OptiStruct», *Altair University*. <https://altairuniversity.com/free-ebooks/free-ebook-practical-aspects-of-structural-optimization-a-study-guide/> (accedido ene. 19, 2021).
- [10] A. L. Ramos García, «Metodología de diseño de chasis en aluminio.», masters, Universidad Autónoma de Nuevo León, 2018. Accedido: oct. 12, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/15943/>
- [11] G. Maila y J. Edison, «Análisis estructural de chasis tubular tipo jaula Nissan Tiida sometido a prueba de impacto lateral basado en simulación por el método de elementos finitos», may 2019, Accedido: mar. 12, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/3364>
- [12] M. Pauta y C. Andrés, «Diseño y manufactura de un chasis para el prototipo de competencia Shell Eco-Marathon», 2016, Accedido: oct. 12, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6264>
- [13] A. Montilla y R. Armando, «Análisis y optimización paramétrica de la estructura de Izaje y chasis de semirremolque de la unidad móvil Apu», Accedido: mar. 08, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/7949>
- [14] R. Jiménez y D. Adolfo, «Diseño de las manguetas delanteras y posteriores para un vehículo Formula SAE mediante técnicas de optimización estructural y manufactura con CNC.», 2016, Accedido: ene. 19, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6486>
- [15] V. Herrera y N. Jhonatan, «OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA ESTRUCTURAL COMO MÉTODO PARA MEJORAR EL BRAZO FRONTAL INFERIOR DE SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO CHEVROLET ESTEEM», ene. 2018, Accedido: mar. 10, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/2754>
- [16] Á. Encalada y L. Montaleza, «Determinación geométrica del sistema de suspensión para un vehículo eléctrico biplaza».
- [17] E. J. Carpio Iñiguez y A. M. Chalco Orellana, «Factibilidad Técnica y Económica para la producción de Barras de Tiro en Ecuador», 2019, Accedido: mar. 10, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9610>