

Diseño mediante simulación de la estructura para una motocicleta eléctrica

---



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v5i1.991>

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de investigación

*Diseño mediante simulación de la estructura para una motocicleta eléctrica*

*Design by simulation of the structure for an electric motorcycle*

*Projeto por simulação da estrutura de uma motocicleta elétrica*

Rodrigo Daniel Molina-Redrobán<sup>I</sup>  
[dannyrodriarsenal@hotmail.com](mailto:dannyrodriarsenal@hotmail.com)  
<http://orcid.org/0000-0003-4777-7960>

Emilio Leonardo Jiménez-González<sup>II</sup>  
[e\\_jimenez28@hotmail.com](mailto:e_jimenez28@hotmail.com)  
<http://orcid.org/0000-0002-1112-2754>

Luis Antonio Chica-Castro<sup>III</sup>  
[luis.chicac@ug.edu.ec](mailto:luis.chicac@ug.edu.ec)  
<http://orcid.org/0000-0002-1560-5147>

\***Recibido:** 17 de septiembre de 2019 \***Aceptado:** 21 de octubre de 2019 \* **Publicado:** 12 de noviembre de 2019

<sup>I</sup> Magíster en Diseño Mecánico Mención en Fabricación de Autopartes de Vehículos, Ingeniero Automotriz, Investigador Independiente, Ecuador.

<sup>II</sup> Investigador Independiente, Ecuador.

<sup>III</sup> Magíster en Diseño Mecánico Mención en Fabricación de Autopartes de Vehículos, Ingeniero Industrial, Universidad Estatal de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

## Resumen

En el presente estudio se propone diseñar un chasis y su respectiva construcción para una motocicleta eléctrica, con materiales del mercado local. El método se hará mediante matrices de calidad para la selección de la materia prima adecuada entre los Aceros ASTM A36, Acero Inoxidable y el Acero ASTM A500 para la fabricación de la estructura y sus respectivas simulaciones a través del software NX utilizando el método de elementos finitos del mismo. Se seleccionó el acero ASTM A36 porque este cumple con los valores adecuados de resistencia máxima y desplazamiento máximo, bajo la normativa INEN 2415 de las propiedades del acero en el país. Los resultados obtenidos del chasis simulado y fabricado con el Acero A36 con un límite elástico de 250 MPa, al aplicar las cargas respectivas al peso del conductor, motor eléctrico y pack de baterías proyecto los siguientes resultados en la simulación de 121.48 MPa en el esfuerzo máximo, un desplazamiento máximo de 0.291mm y un factor de seguridad de 1.8 por lo que se determinó que no existe riesgo de rupturas en la estructura y se puede construir bajo los parámetros de diseño planteado. Se demostró que este tipo de proyectos aportan al cambio de matriz productiva ya que no producen contaminación, ya que su fuente de almacenamiento y de transmisión es eléctrica.

**Palabras claves:** Diseño estructural; electricidad; energía; vehículo automotor; transporte.

## Abstract

In the present study it is proposed to design a chassis and its respective construction for an electric motorcycle, with materials from the local market. The method will be carried out by means of quality matrices for the selection of the appropriate raw material between the ASTM A36, Stainless Steel and ASTM A500 Steel for the construction of the structure and their respective simulations through the NX software using the finite element method of the same. ASTM A36 steel was selected because it meets the appropriate values of maximum strength and maximum displacement, under the INEN 2415 standard for steel properties in the country. The results obtained from the simulated chassis and manufactured with A36 Steel with an elastic limit of 250 MPa, when applying the respective loads to the weight of the driver, electric motor and battery pack, project the following results in the simulation of 121.48 MPa in the maximum effort, a maximum displacement of 0.291mm and a safety factor of 1.8, so it was determined that there is no risk of

## Diseño mediante simulación de la estructura para una motocicleta eléctrica

---

ruptures in the structure and can be built under the design parameters set. It was shown that this type of projects contribute to the change of the productive matrix since they do not produce pollution, since its source of storage and transmission is electrical.

**Keywords:** Structural design; electricity; Energy; motor vehicle; transport.

### Resumo

No presente estudo, propõe-se projetar um chassi e sua respectiva construção para uma motocicleta elétrica, com materiais do mercado local. O método será realizado por meio de matrizes de qualidade para a seleção da matéria-prima adequada entre o aço ASTM A36, aço inoxidável e aço ASTM A500 para a construção da estrutura e suas respectivas simulações através do software NX, utilizando o método dos elementos finitos do mesmo. O aço ASTM A36 foi selecionado porque atende aos valores apropriados de resistência máxima e deslocamento máximo, de acordo com a norma INEN 2415 para propriedades de aço no país. Os resultados obtidos no chassi simulado e fabricados com aço A36 com limite elástico de 250 MPa, ao aplicar as respectivas cargas ao peso do motorista, motor elétrico e bateria, projetam os seguintes resultados na simulação de 121,48 MPa no esforço máximo, um deslocamento máximo de 0,291 mm e um fator de segurança de 1,8; portanto, foi determinado que não há risco de rupturas na estrutura e pode ser construído sob os parâmetros de projeto definidos. Foi demonstrado que esse tipo de projeto contribui para a mudança da matriz produtiva, pois não produz poluição, pois sua fonte de armazenamento e transmissão é elétrica.

**Palavras-chave:** Projeto estrutural; eletricidade; energia; veículo a motor; transporte.

### Introducción

En el presente estudio se propone diseñar un chasis para una motocicleta eléctrica y adaptar un motor eléctrico, el cual permita un óptimo desempeño de la motocicleta y cumpla con los estándares de calidad confort y seguridad establecidas en las normativas de tránsito ecuatorianas. El autor (Vergara, 2011) expresa que un chasis es una estructura que mantiene sujetas entre sí las distintas partes necesarias para formar un vehículo u objeto y además de aportar rigidez al conjunto, dicho de otra forma, es donde sujeta la dirección, el motor, el basculante trasero, etc. y es el armazón de la motocicleta. El chasis de una motocicleta debe cumplir dos funciones básicas las

## Diseño mediante simulación de la estructura para una motocicleta eléctrica

---

cuales son: estáticas y dinámicas dentro de la función estática abarca un aspecto que, aunque es evidente, cabe destacarlo, y no es otro que soportar el peso de la moto, el piloto, el motor y todo el resto de elementos necesarios, como por ejemplo los depósitos de gasolina y aceite.

La función dinámica es quizás es la menos apreciada, pero es de vital importancia: el chasis, en conjunto con el resto de las partes, deben proporcionar una dirección precisa, un buen agarre, un buen confort y una buena manejabilidad. Por todo ello, la estructura de la moto debe resistir adecuadamente los esfuerzos de torsión y flexión, de forma que las ruedas puedan mantener una relación correcta entre ellas, sin importar las dificultades u obstáculos que se presenten durante el uso de la motocicleta.

Una relación correcta quiere decir que el eje de la dirección debe permanecer en el mismo plano que la rueda trasera, de forma que la geometría de la dirección no se vea afectada por posibles deformaciones del chasis (Bradley, 2012). Además, el chasis debe permitir una buena conducción de la moto ya sea esta eléctrica o de combustión interna, refiriéndose a manejabilidad como al esfuerzo físico necesario para que la moto responda a las acciones. Este aspecto dependerá fundamentalmente de la altura del centro de gravedad, la rigidez el peso la geometría, el tamaño de los neumáticos y los momentos de inercia de las ruedas y el conjunto piloto/moto. (García, 2013)

El aumento de la contaminación que generan los motores de combustión interna, la carencia de empresas que se dediquen al diseño y construcción de vehículos eléctricos EV que aporten un transporte eficiente dentro de las distintas ciudades del territorio Ecuatoriano, sin utilización de combustibles fósiles ocupados en los automotores convencionales, es lo que impulsa al autor a realizar este tipo de investigaciones con la finalidad de brindar ideas innovadoras al cambio de matriz productiva del Ecuador.

Considerando como objetivo principal la simulación y construcción de una estructura para una motocicleta eléctrica. Es de gran interés este estudio tanto para el Estado como para la población Ecuatoriana ya que actualmente, según el Instituto Nacional de Estadística (INEC) y Ministerio del Ambiente (MAE) en ciudades como Quito, Santo Domingo de los Tsáchilas y Milagro reportaron los índices más altos de contaminación PM 2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) excediendo lo recomendado por la Organización Mundial de la salud (OMS) (ELCOMERCIO, 2016). Por eso es fundamental realizar

## Diseño mediante simulación de la estructura para una motocicleta eléctrica

---

este tipo de proyectos que contribuyan a disminuir y cuidar el medio ambiente, introduciendo vehículos de tipo eléctrico que tienen un cero por ciento de emisiones de CO<sub>2</sub> y son amigables tanto para el ambiente como para los usuarios.

La importancia de esta investigación no solo radica en la problemática medioambiental sino en la contribución por parte del sector manufacturero, con el aumento de autopartes de producción nacional para motocicletas eléctricas, que se puedan realizar con maquinaria y mano de obra ecuatoriana, teniendo en cuenta, que actualmente el estado ecuatoriano obliga a las empresas a realizar un 20% (<http://www.industrias.gob.ec>, 2013) de accesorios para motocicletas como: basculante, volante, parrilla y accesorios extras, fabricados en el Ecuador y normalizados bajo la Norma ISO 9001-2008 y próximamente con la Norma ISO 9001-2015 a modo de certificar estos productos. (UNO, 2018)

Con este proyecto se busca contribuir en el cambio de matriz productiva impulsada por el gobierno anterior y que hoy en día se mantiene con el Plan de Desarrollo Nacional Toda una Vida. Así como también, desarrollarlos a base de energías autosustentables que aportará a la principal problemática de la contaminación ambiental, que se ve envuelta por la utilización de combustibles fósiles por parte del sector de la traspotación.

### **Métodos y Materiales**

El presente proyecto tiene como alcance la realización de un prototipo de chasis para la adaptación un motor eléctrico y un sistema de almacenamiento de energía con baterías de Ion-Litio, este último, es un trabajo de investigación que se efectúa en paralelo y que luego será acoplado al chasis diseñado, con esto la Facultad de Arquitecturas e Ingenierías de la Universidad Internacional SEK buscan ser pioneras en diseñar y construir un vehículo eléctrico de dos ruedas en el país.

Primero se elaborará una investigación bibliográfica para determinar los métodos que permitan ejecutar el análisis para la selección correcta del chasis en base a normas y procesos nacionales que indiquen el tipo de chasis necesario para la simulación y su respectiva validación del diseño, la cual será a través de los pesos colocados del pasajero pack de baterías y motor eléctrico Brushless.

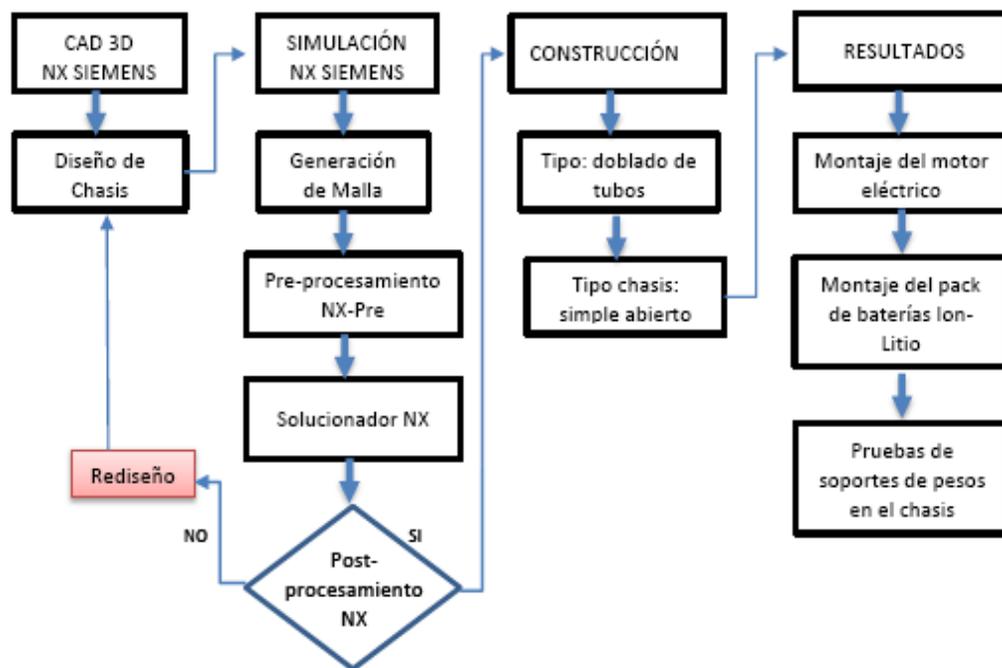
## Diseño mediante simulación de la estructura para una motocicleta eléctrica

Se empleará la metodología descriptiva como parte principal para describir a detalle la identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables planteadas, ya que, este tipo de metodología no se restringe únicamente a la recopilación de datos.

Para la selección del material se plantean tres tipos de aceros los cuales se encuentran dentro del mercado ecuatoriano. Acero inoxidable, acero galvanizado y acero A36 los que serán utilizados en la simulación y respectiva construcción del chasis una vez obtenidos los resultados de la simulación.

A través de una matriz de calidad se escogerá la mejor configuración del chasis dentro de los cuales se tiene simple abierto, chasis doble viga y de monocasco una vez realizada la selección se procederá a las respectivas simulaciones de esfuerzos en el software NX, permitiendo por medio de este obtener los resultados esperados de confort y seguridad.

**Figura 1**  
**Metodología**

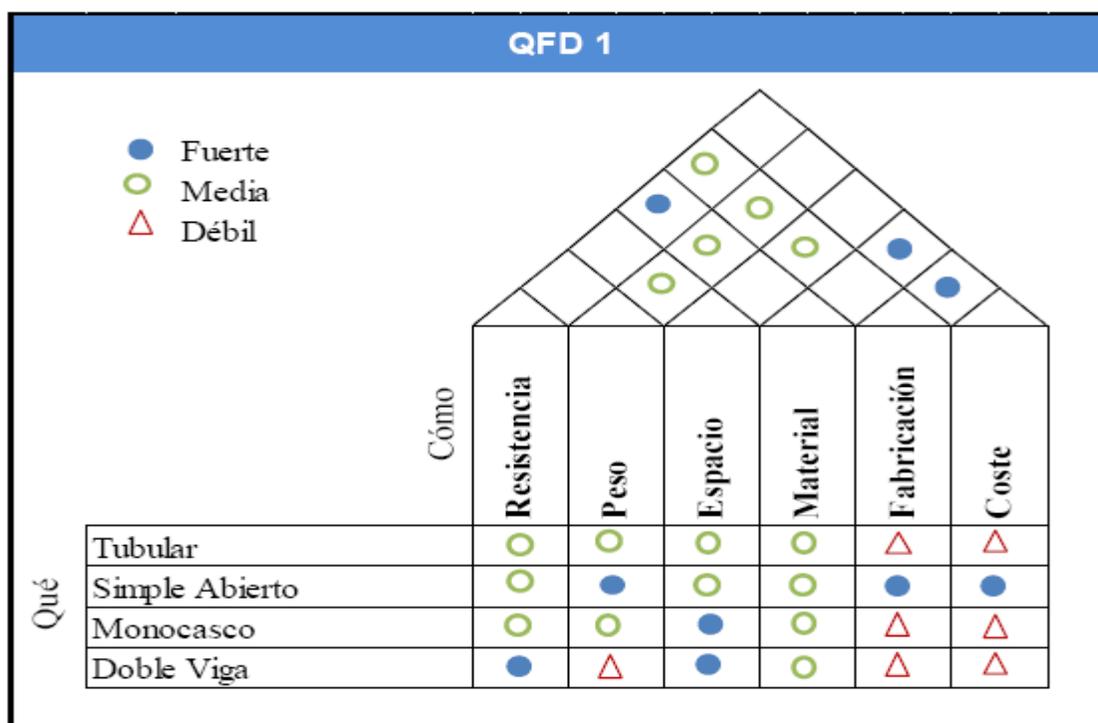


Fuente: Propia

Diseño mediante simulación de la estructura para una motocicleta eléctrica

Para la correcta selección del chasis para una moto eléctrica se procederá a utilizar una matriz de selección como se observa en la figura N°2. Entre las opciones con las que se cuentan para el diseño de la estructura se tienen las de tipo: tubular, simple abierto, monocasco y doble viga los cuales se medirán bajo los parámetros de calidad de: rigidez, peso, espacio, material, fabricación y coste del mismo.

**Figura 2**  
**Matriz de calidad para selección del chasis**



Fuente: Propia

De acuerdo con la matriz se observa que la elección de un chasis simple abierto es la mejor opción bajo los aspectos analizados, ya que, ofrece un mayor número de relaciones fuertes por lo tanto una mejor viabilidad para el proyecto en cuanto a costos de fabricación y facilidad del mismo.

Por tales beneficios en el diseño y construcción se optará por esta selección como la más viable para este proyecto el cual se pretende reducir los costos y pesos finales del mismo.

## Resultados

Se determinaron los esfuerzos máximos, mínimos y deformaciones provocadas por la acción de cargas estáticas sobre el chasis de la moto, las cargas estáticas sobre el bastidor se presentan cuando el piloto se sienta sobre la motocicleta, el propio peso del motor y el pack de baterías.

Las cargas que se aplican al chasis se obtuvieron por medio del cálculo de las reacciones provocadas por los pesos antes mencionados, en los puntos donde estos se sujetan al chasis y a través del software especializado NX siemens, que emplea el análisis por el método de elementos finitos, proporcionando resultados de los esfuerzos máximos y de la deformación máxima a las que está sujeto el bastidor de una moto al desinar cargas puntuales en el mismo.

Para ello, se aplicaron fuerzas aproximada 1000 N en los puntos críticos (asiento, apoyos del motor y las baterías), el límite de fluencia del material acero estructural es de 250 MPa, como resultado se obtiene que el esfuerzo máximo aproximado que soporta el chasis es de 137 MPa; es decir que no supera el porcentaje de la fuerza requerida para deformarse.

### Esfuerzos cuantitativos producidos en el chasis

Con el programa STATGRAPHICS se analizaron cada uno de los esfuerzos producidos en el chasis con tres diferentes tipos de materiales donde observa el esfuerzo máximo y mínimo que se producen con cada uno de ellos y las gráficas de dispersión para obtener un promedio de los esfuerzos producidos, según las fuerzas aplicadas en cada uno de los diferentes tipos de materiales figuras 3 y 4 datos de esfuerzos.

Diseño mediante simulación de la estructura para una motocicleta eléctrica

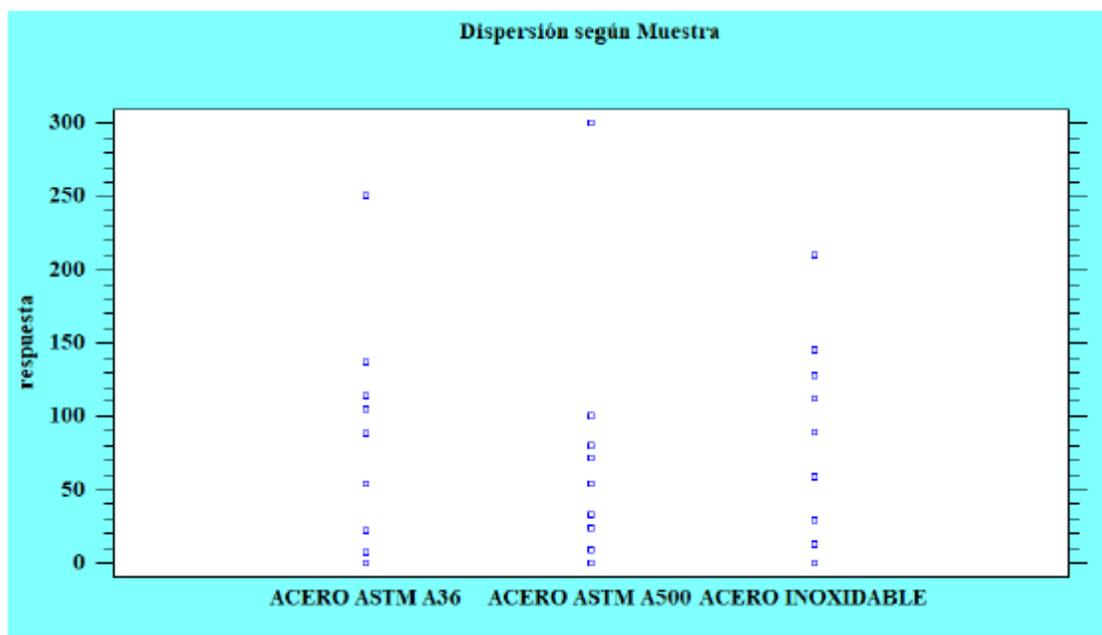
**Figura 3**

Datos de esfuerzos con los diferentes materiales

Niveles	ASTM A36 (MPa)	ASTM A500(MPa)	Acero Inoxidable(MPa)
1	250	300	210
2	121	131	142
3	114	110	128
4	105	100	112
5	88	80	89
6	54	65	59
7	22	24	29
8	7	9	13
9	0	0	0

**Figura 4**

Gráfico de dispersión de los materiales



**Comparación de muestras**

Se analizaron las muestras según los esfuerzos máximos presentados en cada material.

Muestra 1: ACERO1 (A36)

Muestra 2: ACERO2 (A500)

Muestra 3: ACERO3 (INOXIDABLE)

Muestra 1: 9 valores en el rango de 0 a 250,0

## Diseño mediante simulación de la estructura para una motocicleta eléctrica

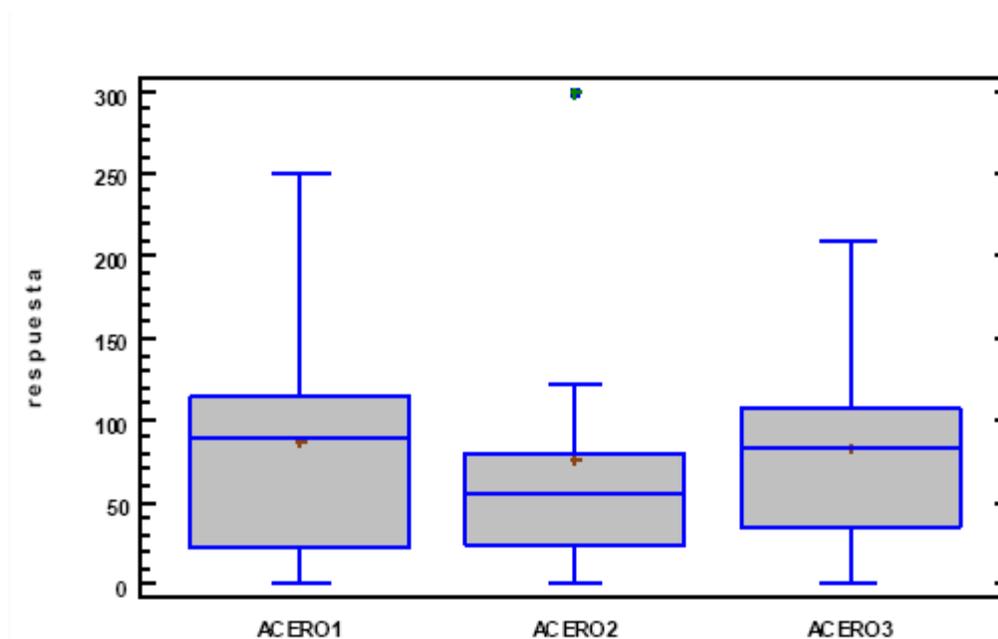
Muestra 2: 9 valores en el rango de 0 a 300,0

Muestra 3: 9 valores en el rango de 0 a 210,0

Este procedimiento compara los datos en 3 columnas de datos actuales. Realiza varias pruebas estadísticas y gráficas para comparar las muestras de los diferentes aceros empleados para ver cual tiene una mejor media.

**Figura 4**

Gráfico de caja y bigotes de los materiales



El análisis confirma la tendencia de que el Acero 36 tiene un mejor comportamiento y sigue cumpliendo su cometido dentro de los parámetros planteados de esfuerzo máximo y desplazamiento previamente expuestos.

### De acuerdo con los materiales

Una vez realizadas las respectivas simulaciones del chasis y validadas matemáticamente mediante el cálculo matemático del factor de seguridad, se obtiene los siguientes datos comparativos de resultados finales entre los tres materiales propuestos para la estructura donde se visualiza el esfuerzo máximo, desplazamiento y factor de seguridad.

Diseño mediante simulación de la estructura para una motocicleta eléctrica

**Figura 5**

Resultados obtenidos del Chasis

Datos	Acero ASTM A36	Acero ASTM A500	Acero Inoxidable
Esfuerzo Max.	121.48 MPa	131.01 MPa	142.92 MPa
desplazamiento	0.291mm	0.314 mm	0.342 mm
Factor de seguridad	2	2.13	1.44

El material seleccionado para este proyecto a través de matrices de calidad en las cuales por calidad resistencia y precios, la perfilera de acero ASTM A36 es la mejor opción, dichos datos se verificaron con el proceso de simulación mecánica al tener una menor deformación. A continuación, se presenta las especificaciones técnicas del perfil seleccionado de la empresa IPAC.

**Figura 6**

Perfil mecánico redondo ASTM A36

Especificaciones	Datos
Largo nominal	6m
Recubrimiento	negro
Norma	ASTM A366
Norma de fabricación	INEN 2415
Espesor	2 mm
Diámetro	25.40mm
Peso	1.15kg/m
Precio	6.80\$/u
Unidades	3
Límite elástico	250 MPa
Resistencia a la tracción	400 MPa

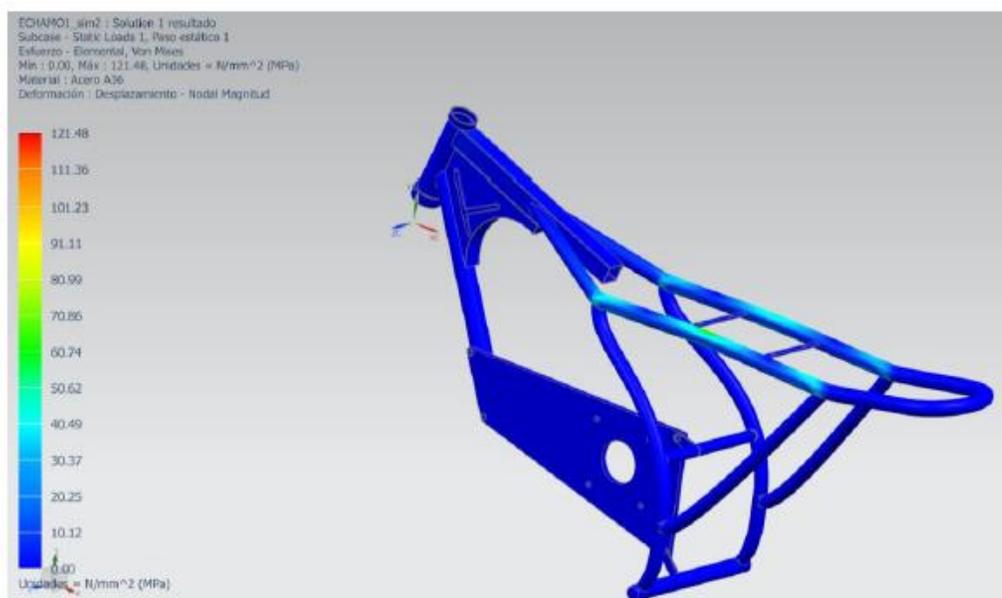
Fuente: IPAC

## Diseño mediante simulación de la estructura para una motocicleta eléctrica

### Esfuerzo máximo en el Chasis

En la simulación planteada y realizada en el software NX para esta investigación se aplicó una carga de 1000N correspondientes a los pesos del piloto, motor y pack de Baterías empleando el material ATSM A 36, obteniendo así un esfuerzo máximo de 121.48 MPa y un factor de seguridad antes calculado de 1.8, Estudios en Colombia de tendencias parecidas de un chasis para moto eléctrica (Noriega & Pantoja, 2014) dieron los siguientes resultados mediante el análisis de elementos finitos en la simulación estática del software SolidWorks, empleando un modelo isotrópico elástico lineal, para ello, se aplica una fuerza de 2.040 N en los puntos críticos (asiento y apoyos del motor y las baterías), el límite de fluencia del material acero estructural 1035 (S185) es de 175 MPa, como resultado, se obtiene que el esfuerzo máximo que soporta el chasis es de 60,7 MPa, es decir que su factor de seguridad es de 2.8 y no supera la fuerza requerida para deformarse. En la figura se aprecia el análisis de esfuerzos que se obtuvieron para la moto eléctrica.

**Figura 7**  
Resultados del Chasis propuesto



### Rango de desplazamiento en el Chasis

De igual forma en un estudio realizado en Pamplona – España realizador por (Larrauri, 2012) se observa que el rango de desplazamiento del chasis al aplicar una carga de 1922.74N es de 0.468

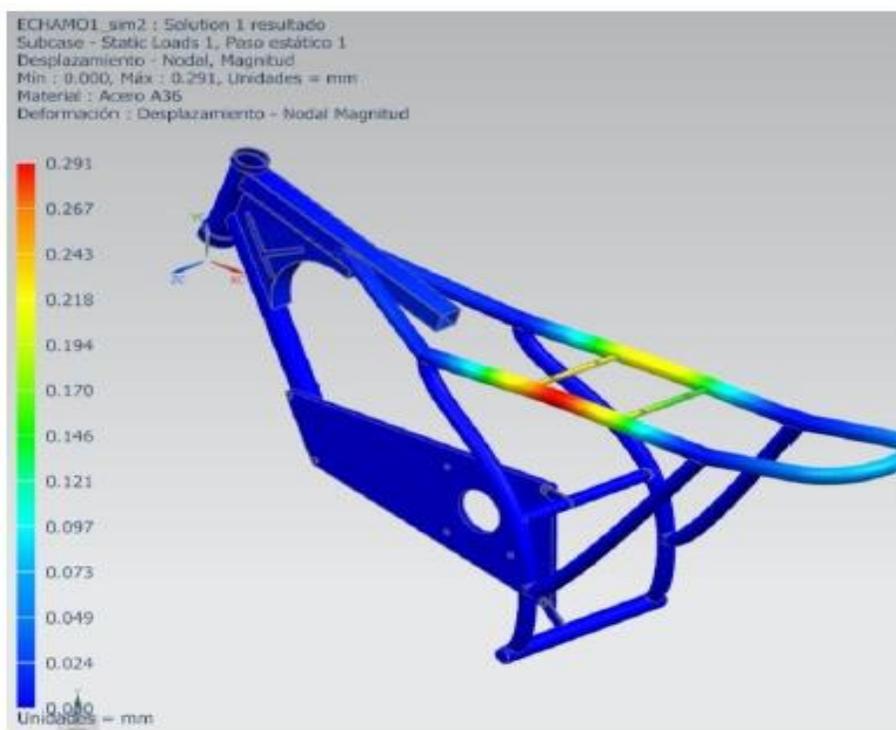
## Diseño mediante simulación de la estructura para una motocicleta eléctrica

mm, denotando que en la parte posterior es donde se produce un mayor desplazamiento en la estructura.

Mientras que para la investigación planteada se aplica una fuerza de 1000N lo cual arroja un desplazamiento casi similar de 0.291 mm produciéndose mayor desplazamiento en la parte central del chasis (figura 128) comprobando así que se mantiene dentro de los parámetros en los resultados de desplazamientos con la investigación anterior.

**Figura 8**

Rango de desplazamiento del chasis



El autor (Valencia, 2018) realizó un prototipo de chasis para un motor eléctrico HPM-5000 y un controlador VEC300 con el peso de la estructura de 30kg lo cual oponía una resistencia al motor para la transmisión de movimiento (Figura 9).

## Diseño mediante simulación de la estructura para una motocicleta eléctrica

---

**Figura 9**

Prototipo de chasis



**Fuente:** (Valencia, 2018)

Mientras que en la investigación planteada por el tipo de chasis simple abierto y el tipo de material seleccionado para la estructura, logró reducir el peso de la estructura a 12.5 kg ocupando el mismo motor y controlador del proyecto previo logrando así optimizar la carga que recibía el motor para la transmisión de potencia.

### **Conclusiones**

Durante el desarrollo de la investigación se demostró que el chasis simulado y fabricado con el Acero A36 cumple con los objetivos de reducir el peso mejorar su estética y cumplir con los parámetros de resistencia, ya que, el límite elástico del A36 es de 250 MPa y el esfuerzo máximo obtenido en la simulación es de 121.48 MPa manteniéndose dentro de los parámetros de seguridad.

Se confirmó que el Acero ASTM A36 es el material con mejores características de las tres propuestas presentadas de acuerdo a su factor de seguridad de 1.8, lo que determina que la moto eléctrica soportara mayores cargas a las propuestas en este proyecto.

Se demostró que este tipo de proyectos aportan al cambio de matriz productiva, ya que, no producen contaminación y ningún tipo de emisiones de CO<sub>2</sub> debido a que su fuente de almacenamiento y de transmisión es eléctrica, así como también, se logró obtener una reducción del peso del chasis en

## Diseño mediante simulación de la estructura para una motocicleta eléctrica

---

un 40% con respecto a una investigación planteada previamente a fin de mejorar la autonomía tanto de las baterías como la del motor.

De esta manera se observa que este tipo proyectos son viables en el Ecuador para una mayor producción de este de motos eléctricas ya que tanto el VAN y el TIR son positivos y la recuperación del capital invertido es de aproximadamente de dos años lo cual es más aceptable para la población.

### Referencias

1. Bradley. (2012). The Racing Motorcycle volume I. Inglaterra: Ed. Broadland. INGLATERRA: Broadland. 34-45.
2. ELCOMERCIO. (2016). Seis urbes en Ecuador se exceden en contaminación ambiental, según OMS. OMS.
3. Garcia. (2013). Diseño y desarrollo de un chasis de una motocicleta de 250cc para la “II Competición Internacional MotoStudent”.
4. Larrauri, A. (2012). Diseño y estudio de Modificación de chasis de una motocicleta. . Pamplona: UPNA.
5. Pantoja, N. &. (2014). Diseño y construcción de una motocicleta eléctrica: una alternativa para el transporte sostenible. El Hombre y la Máquina. Redaly , 88-97.
6. UNO. (2018). Producción nacional. porcentaje de producción Nacional. . Quito, Pichincha, Ecuador .
7. Valencia. (2018). Análisis y simulación de un chasis. 30-40.
8. Vergara, C. (2011). Modelado, análisis y simulación de un chasis. análisis y simulación de un chasis. Leganés , 34.

### References

1. Bradley (2012). The Racing Motorcycle volume I. England: Ed. Broadland. ENGLAND: Broadland. 34-45.

Diseño mediante simulación de la estructura para una motocicleta eléctrica

---

2. TRADE. (2016). Six cities in Ecuador exceed environmental pollution, according to WHO. WHO.
3. Garcia (2013). Design and development of a 250cc motorcycle chassis for the "II International MotoStudent Competition".
4. Larrauri, A. (2012). Design and study of Modification of a motorcycle chassis. . Pamplona: UPNA.
5. Pantoja, N. &. (2014). Design and construction of an electric motorcycle: an alternative for sustainable transport. The Man and the Machine. Redaly, 88-97.
6. ONE. (2018). National Production. National production percentage. . Quito, Pichincha, Ecuador.
7. Valencia. (2018). Analysis and simulation of a chassis. 30-40.
8. Vergara, C. (2011). Modeling, analysis and simulation of a chassis. Analysis and simulation of a chassis. Leganés, 34.

©2019 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).