

PROYECTO EN CURSO

Universidad	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Programa Académico	TECNOLOGÍA MECÁNICA
Nombre del Semillero	PROMA&DIMA
Nombre del Grupo de Investigación (si aplica)	PROCESOS DE MAFACTURA Y DISEÑO DE MAQUINAS
Nombre del Tutor del Semillero	HECTOR FABIO QUINTERO
Email Tutor	hquinte@utp.edu.co , jfa@utp.edu.co
Título del Proyecto	Desarrollo virtual de un vehículo utilitario eléctrico con herramientas CAD-CAE-CAM
Autores del Proyecto	Christian Felipe Narváez, Jenifer Ramirez M, Juan Felipe Arroyave L, Carlos Andrés Mesa, Edgar Alonso Salazar M, Carlo Arturo Cataño
Ponente (1)	Christian Felipe Narváez,
Documento de Identidad	1088321963
Email	khris036@utp.edu.co
Ponente (2)	Jenifer Ramirez M
Documento de Identidad	1088337063
Email	ye_ramirez3@utp.edu.co
Teléfonos de Contacto	3175009767 – - 3128166626
Nivel de formación de los estudiantes ponentes (Semestre)	Ingeniería Mecánica (10 semestre), Tecnólogo Mecánico (sexto semestre)
MODALIDAD (seleccionar una- Marque con una x)	PONENCIA <ul style="list-style-type: none"> • Investigación en Curso X • Investigación Terminada
Área de la investigación (seleccionar una- Marque con una x)	• Ciencias Naturales
	• Ingenierías y Tecnologías X
	• Ciencias Médicas y de la Salud.
	• Ciencias Agrícolas
	• Ciencias Sociales
	• Humanidades
	• Artes, arquitectura y diseño

Título: Desarrollo virtual de un vehículo utilitario eléctrico con herramientas CAD-CAE-CAM

Christian Felipe Narváez¹, Jenifer Ramirez M², Juan Felipe Arroyave L³, Carlos Andrés Mesa⁴,
Edgar Alonso Salazar M⁵

Resumen

El proyecto en curso consiste en el diseño y construcción virtual de un vehículo utilitario eléctrico, apto para el contexto geográfico colombiano y que se convierta en un modelo de desarrollo tecnológico propio. Con base en un concepto de diseño estructurado, amplio y detallado, se emplean herramientas computacionales para modelado, simulación conceptual, dinámica, estructural, fluido-dinámica, de manufactura y ensamble; en todos y cada uno de los sistemas para la obtención de un concepto del vehículo. La experiencia adquirida en varios proyectos materializados como el Fórmula Colombia, el SAE supermileage, el carro solar para el desierto de Atacama, el buggy arenero, ha generado la motivación en el grupo de investigación de Tecnología Mecánica y del semillero PROMA&DIMA para la concepción, modelado, simulación y fabricación de vehículos automotores con ingenio y tecnología endógena, aprovechando la capacidad de los programas computacionales CAE modernos.

Palabras claves: Vehículo utilitario, modelado CAD, herramientas CAE.

Introducción

A nivel mundial se adelantan iniciativas y estructuran mecanismos para incentivar el ingenio y la inventiva de científicos y académicos de Universidades, Instituciones científicas, Centros de desarrollo tecnológico, para diseñar y materializar diversas alternativas de transporte, con gran diversidad de expectativas según el contexto en que se realice. La eficiencia energética (relación de energía entregada sobre consumo de energía disponible) ha sido el común denominador en todas las alternativas propuestas. En el contexto colombiano las alternativas han sido propuestas no por la academia, sino por industriales interesados en poner en el mercado un vehículo utilitario que pueda tener un mercado promisorio. Para ello, la apariencia y el bajo costo de venta son casi que únicos criterios para la concepción de estos vehículos.

Este proyecto pretende introducir en el desarrollo de los vehículos un componente computacional en el cual se pueda establecer una metodología para el desarrollo de este tipo de vehículos a futuro.

Planteamiento del Problema

Con el fin de integrar diferentes áreas del conocimiento como: Diseño, Materiales, ciencias térmicas, automatización, y demás, en un solo proyecto, la escuela de Tecnología Mecánica y el programa de Ingeniería Mecánica se encuentran trabajando en el diseño y construcción virtual de un vehículo eléctrico utilitario, el cual busca desempeñar una aplicación utilitaria de transporte de carga o pasajeros; teniendo en cuenta el árbol de objetivos planteado para el proyecto. El cumplimiento de este propósito requiere el estudio de diferentes subsistemas, los cuales son: Chasis,

¹ khris036@utp.edu.co Universidad Tecnológica de Pereira
² ye_ramirez3@utp.edu.co Universidad Tecnológica de Pereira
³ jfa@utp.edu.co Universidad Tecnológica de Pereira
⁴ caamesa@utp.edu.co Universidad Tecnológica de Pereira
⁵ edgarsalazar@utp.edu.co Universidad Tecnológica de Pereira

suspensión, dirección, frenos y transmisión; todos estos subsistemas tienen que ser relacionados entre sí y ser desarrollados en forma sistemática, lo que conlleva un gran desafío.

Justificación

Hoy, en el entorno competitivo industrial mundial, asistimos a un momento de la Ingeniería en el que en las grandes empresas OEM desarrollan sus productos a partir de prototipos virtuales funcionales, obtenidos desde su concepción con la aplicación de herramientas numéricas y digitales, realizando el ciclo de vida del producto concepción – diseño – validación – ensamble – servicio; con alternativos pasos de modelado de componentes y de sistemas, empleando herramientas discretas CAD/CAE/CAM y observando los prototipos virtuales en su desempeño estático y dinámico (ruido/vibración/movimiento/manejo/durabilidad/fatiga); todo esto bajo un entorno de colaboración en red. Esta forma de trabajar tan corriente ya en el mundo desarrollado se aborda de manera discreta en nuestro medio. Es la intención principal del proyecto acá formulado acercarnos a la metodología de trabajo colaborativo para integrar los procesos de concepción o prediseño, modelado a nivel de sistemas dinámicos, modelado estructural y de detalle, modelado multicuerpo, que se puede resumir siguiendo las imágenes de la Figura 1

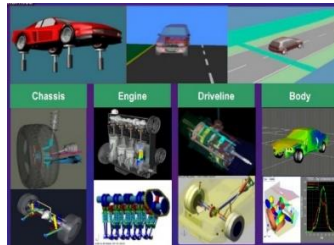


Figura 1. Vehículo funcional digital [4]

La literatura consultada y disponible en la red permite conocer proyectos liderados por países desarrollados que promueven el trabajo colaborativo entre miembros de comunidades científicas alrededor del mundo.

Objetivo General

Diseñar y concebir un vehículo utilitario de bajo costo, empleando herramientas computacionales CAD/CAM/CAE.

Objetivos Específicos

- Aplicar el modelo pedagógico de aprendizaje basado en problemas involucrando estudiantes activos en el proyecto mediante trabajos de grado que traten temas particulares en los sistemas integradores del vehículo.
- Construir un modelo virtual de vehículo híbrido utilitario integrando todos los sistemas que lo componen implementando un concepto de diseño y empleando herramientas CAE que permitan optimizar el producto final.
- Consolidar una metodología de diseño concurrente basado en herramientas computacionales CAD/CAE/CAM empleadas en todas las etapas del diseño para el ciclo de vida del producto.
- Crear y fortalecer un semillero de investigación en Simulación estática y dinámica, desarrollando capacidad de análisis para afrontar necesidades futuras que requieran cálculo

computacional.




Referente Teórico

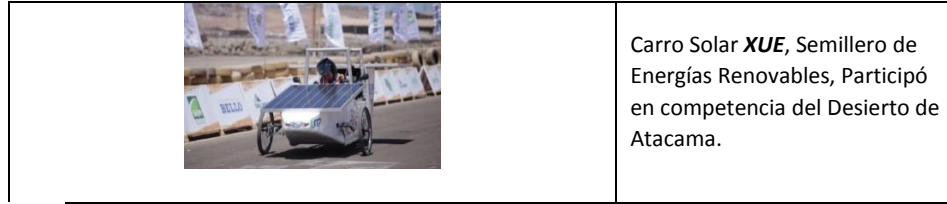
En el siglo 21 los nuevos avances en los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica abren un panorama propicio para la investigación en nuestro contexto. Actualmente existen desarrollos interesantes alrededor del mundo, países como España han venido sacando al mercado vehículos híbridos con fuente principal eléctrica y carga alternativa de baterías con motor-generador (llamado rango extendido). Ejemplo de ello es el proyecto INNVEXTRAN: vehículo eléctrico-híbrido todoterreno (<https://www.youtube.com/watch?v=2X2vVuAmBVU>), con autonomía de sus baterías de 60 km, pero con posibilidad de carga con un pequeño motor de combustión. En relación con vehículos de tres ruedas traccionados eléctricamente, ciudades como Bruselas tiene servicio de taxis con vehículos tipo delta este vehículo puede transportar tres pasajeros con el conductor (<https://www.youtube.com/watch?v=2gniDKezFx4>). En Tokio Toyota desarrolló el I-ROAD, servicio de autos eléctricos que se encuentran disponibles por toda la ciudad, con las cualidades de una bicicleta pero con las comodidades de un auto (<https://www.youtube.com/watch?v=NxGtG40iJes>).

A Colombia han entrado varios vehículos de diseño especial. Empresas como Tesla lideran las innovaciones en vehículos eléctricos 4 ruedas, (<https://www.youtube.com/watch?v=xzzrwXTsji0>). Actualmente Renault ofrece en Colombia su vehículo totalmente eléctrico Twizy, con capacidad para dos personas.

Los programas de Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira han desarrollado sus propios prototipos, algunos de ellos eléctricos e híbridos [1], [2], [3]. La Tabla 1 presenta algunos ejemplos.

Tabla 1. Referentes Universidad Tecnológica de Pereira, programas de Mecánica

Prototipos	Referente
	Fórmula 3, Proyecto Tecnología e Ingeniería Mecánica, 1990.
	Supermileage, proyecto de grado, Mecánica, Laboratorio de motores de combustión.
	Primer prototipo de vehículo solar. Semillero de investigación en Energías Renovables.



Metodología

Para el desarrollo de este proyecto, es necesario el cumplimiento sistemático de los objetivos mediante las siguientes actividades:

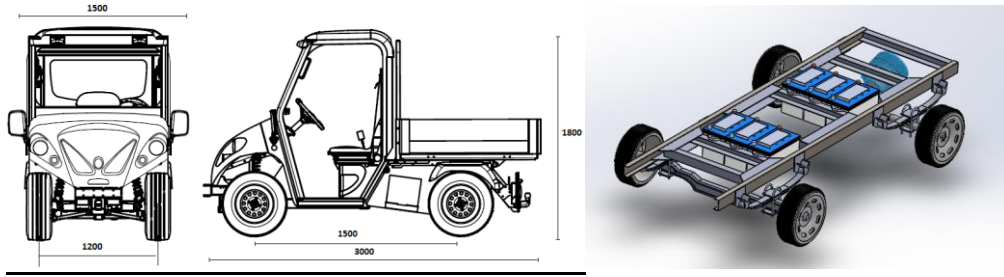
- 1 Estado del arte en torno a vehículos híbridos utilitarios desarrollados en Latinoamérica y en el mundo.
- 2 Conceptualización de las estrategias de operación de los órganos de potencia para responder a la dinámica de tracción del automóvil híbrido, Estudio de todos los referentes bibliográficos más destacados en este tema analizados por los profesores de más trayectoria académica e investigativa del equipo de trabajo.
- 3 Analizar y definir con precisión los requerimientos generales del vehículo a desarrollar para establecer el árbol de objetivos. Se establece y describe el modelo de diseño conceptual con observación de todos los aspectos a considerar en la toma de decisión de las alternativas de vehículo y de cada uno de sus sistemas.
- 4 Realizar los cálculos dinámicos previos de los mecanismos y sistemas del automóvil, conducentes a la elaboración de los criterios y condiciones de contorno para su modelado y simulación.
- 5 Realizar el modelado y simulación dinámica de los mecanismos y sistemas del automóvil, conducentes a la evaluación de la respuesta estacionaria y transitoria de tracción y de frenado, la respuesta de manejo y conducción, la estabilidad, el confort, la aerodinámica, como principales criterios de calidad del objeto de diseño.
6. Abordar el diseño mecánico de las partes de los mecanismos y sistemas. Considerar los factores constructivos, tecnológicos y de explotación, procurando la integración de mecanismos, sistemas, agregados, módulos y componentes comerciales disponibles en el mercado.
7. Realizar la simulación de los mecanismos, sistemas, conjuntos y partes del automóvil, empleando herramientas computacionales CAD-CAE.
8. El proyecto está concebido como proyección a la manufactura y ensamble. Para ello, con herramientas CAM, se hará un análisis de fiabilidad de la fabricación de piezas, incluyendo la generación de planos tecnológicos y de fabricación.

Resultados Parciales (Descripción de los datos recolectados: si corresponde a Ponencia de Investigación en curso indique resultados parciales).

- **Diseño conceptual del vehículo (Resumen)**

Tarea técnica: Vehículo para transportar mercancías, con una plataforma versátil para multiplicidad de usos; con la capacidad de transitar por caminos de pavimento firme y por caminos de tierra, que define el vehículo como de capacidad de carga normal, con tracción trasera. Las dimensiones proporcionales son: Ancho: 1,5m; Largo L= 3m; altura 1,8 m. Distancia entre ejes L: 1,5m. Figura 2. **Carga neta:** 600 kg, **Peso propio:** 1200 kg, Número de pasajeros 2. Radio de giro: (2-2.5) L, velocidad máxima: 50 km/h.

Figura 2. Concepto



- **Revisión bibliográfica (Resumen)**

La revisión bibliográfica se realizó teniendo en cuenta vehículos utilitarios para transporte de carga versátiles en su configuración, y ajustadas a las dimensiones seleccionadas en el diseño conceptual. Los resultados mostrados en la tabla 2 presentan vehículos comerciales europeos, americanos y otros pocos adaptados a Colombia. La revisión busca establecer las condiciones de operación del vehículo y se emplean como marco de referencia en el diseño.

Tabla 2. Revisión de vehículos utilitarios

Vehículo	Empresa	Tecnología	Imagen	Dimensiones	Especificaciones	Motor	Chasis	Suspension
ATX110E	Alke	motor eléctrico AC		Alto: 1,85 m	V max: 44 km/h	Voltaje: 48 V	Chasis de acero con tratamiento anticorrosión y acabado de revestimiento	Delantera: MacPherson con ruedas independientes
				Ancho: 1,27 m	Distancia max: 70 km	Potencia: 8 KW		
				Largo: 3,03 m	Carga útil: 545 Kg	Potencia max: 14 KW		
ATX210E	Alke	motor eléctrico AC		Alto: 1,85 m	V max: 44 km/h	Voltaje: 48 V	Chasis de acero con tratamiento anticorrosión y acabado de revestimiento	Delantera: MacPherson con ruedas independientes
				Ancho: 1,27 m	Distancia max: 70 km	Potencia: 8 KW		
				Largo: 3,520 m	Carga útil: 455 Kg	Potencia max: 14 KW		
T-Truck	DOMARTH ENGINEERING	motor eléctrico DC		Alto: 1,790 m	V max: 45 km/h	Voltaje: 48 V o 72 V	Chasis de acero con tratamiento anticorrosión y acabado de revestimiento	Delantera: Triángulos sobrepuestos con combinados amortiguadores y muelle.
				Ancho: 1,2 m	Distancia max: 120 km con batería de litio	Potencia: 5,4 KW o 8,5 KW		
				Largo: 3,37 m	Carga útil: 635 Kg	Potencia max: 8,5 KW		
Be Sun L3	teycars	motor eléctrico asincrónico		Alto: 1,736 m	V max: 45 km/h	Voltaje: 48 V asincrónico	Estructuras delanteras y traseras de acero desmontable. Chasis anticorrosión. Chasis de aluminio tipo Oversize.	Suspensiones de doble triangulación.
				Ancho: 1,735 m	Distancia max: 50 km	Potencia: 4 KW		
				Largo: 2,8 m	Carga útil: 200 a 600 Kg según legislación	Potencia max:		
Flex L3	teycars	motor eléctrico asincrónico		Alto: 1,736 m	V max: 45 km/h	Voltaje: 48 V asincrónico	Estructuras delanteras y traseras de acero desmontable. Chasis anticorrosión. Chasis de aluminio tipo Oversize.	Suspensiones de doble triangulación.
				Ancho: 1,735 m	Distancia max: 50 km	Potencia: 4 KW		
				Largo: 3,362 m	Carga útil: 200 a 600 Kg según legislación	Potencia max:		
E-Worker	MEGA	motor eléctrico asincrónico AC, EMERSON MILERO Y-S		Alto: max 2,5 m	V max: 40 km/h	Voltaje: 48 V	Con estructura de escalera de acero tratada con resina epoxi de alta resistencia y electrolisis anticorrosiva	Delantera: Amortiguadores independientes tipo MacPherson con muelles.
				Ancho: 1,36 m	Distancia max: 60-80-110 km en función de la potencia	Potencia: 8,6-11,5-17,7 KW		
				Largo: 3,165 m-3,875 m	Carga útil: max 750 Kg	Potencia max:		
TITAN HD	CUSHMAN	motor eléctrico de imanes permanentes		Alto: 1,19 m	V max: 21 km/h	Voltaje: 36/48 V	Acero soldado w / DuraShield™ Powder Coat	Delantera:
				Ancho: 1,13 m	Distancia max: 145 km	Potencia: 6/11,3 KW		
				Largo: 2,3 m	Carga útil: max 2500 lbs	Potencia max:		
ET-150	Taylor-Dunn			Alto:	V max: 28,9 km/h	Voltaje: 48 V	Acero soldado w / DuraShield™ Powder Coat	Delantera:
				Ancho:	Distancia max:	Potencia:		
				Largo:	Carga útil: 680 kg	Potencia max:		

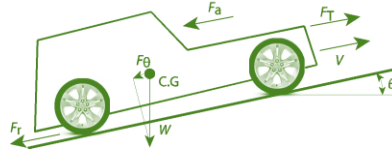
- **Metodología de Diseño (Resumen)**

Para el establecimiento de los objetivos funcionales, se aplica el concepto de la casa de la calidad, concepto que traslada los atributos del consumidor AC (deseos o necesidades de los clientes) y los traduce o transforma en características de Ingeniería EC (características técnicas del producto). Las EC están fuertemente relacionadas con los AC, son estas relaciones las que el equipo de diseño puede manipular para mejorar la satisfacción del cliente. Se definieron 9 atributos aplicados al vehículo (vehículo compacto, estándares de seguridad, buen promedio de Kilómetros de autonomía, energéticamente eficiente (km/ kWh), alta potencia, garantía y respaldo, capacidad de carga, estabilidad, buenas condiciones de manejo, manejo confortable, amigable con el ambiente). Las características técnicas definidas para los atributos de anteriores fueron: Indicadores de seguridad, campo visual de los espejos, estabilidad de la suspensión, tamaño de las llantas, tipo de llantas, potencia del motor, peso del motor y baterías, par transmitido, tiempo de carga de las baterías, potencia consumida, cinturón de seguridad, capacidad de almacenamiento de las baterías, número de partes que cubre la garantía, emisiones, capacidad del sistema de frenos, peso de chasis, dimensiones generales del vehículo, estabilidad de la dirección, dimensión entre el tablero y la parte trasera de la silla.

- **Dinámica de la tracción (Resumen)**

El análisis de fuerzas resistivas pretende determinar la potencia requerida de la unidad motora en función de todos los parámetros de carga involucrados [5][6]. Las cargas presentes en un vehículo en dirección al movimiento son básicamente: Fuerza debida a la pendiente F_{θ} , Fuerza debida a la rodadura F_r , Fuerza por efectos aerodinámicos F_a , Fuerza de tracción F_T

Figura 3. Fuerzas presentes en un vehículo en dirección al movimiento



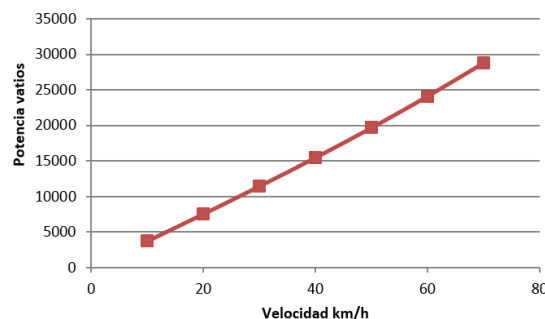
Todas las fuerzas de restricción presentes en un vehículo demandarán una potencia total que será función de la velocidad. Ya calculada la fuerza de tracción, la potencia total estará determinada por:

$$\dot{W} = \left(W \sin \theta + C_r W \cos \theta + \frac{1}{2} \rho S K_a V^2 + m a \right) \times V \quad (1)$$

En la ecuación anterior se incluye la componente inercial, para prever un cambio de velocidad y que podría, en el caso particular del movimiento desde el reposo, usarse para cuantificar la necesidad de potencia a suplir por el motor eléctrico. Teniendo en cuenta parámetros implicados descritos a continuación, la figura 3 muestra el comportamiento de la potencia a diferentes velocidades, teniendo en cuenta en este caso los efectos de la rodadura y resistencia aerodinámica.

Valores asumidos: Masa total del vehículo, $m = 1200$ kg ($W = 11772$ N), Velocidad constante, Pendientes 0° , coeficiente de rodadura $C_r = 0,03$, Densidad de aire: $1,2$ kg/m³, sección de vehículo transversal: 2 m², Coeficiente $K_a = 0,34$.

Figura 3. Potencia requerida



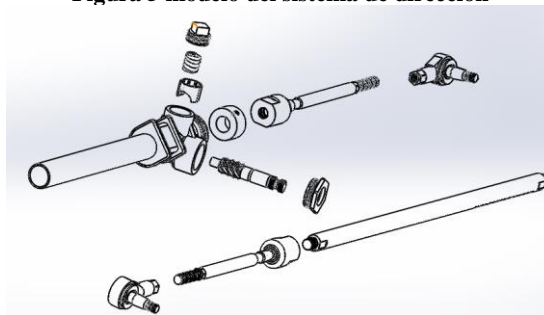
Teniendo en cuenta la velocidad de operación promedio necesaria en el diseño (30 km/h), la unidad motriz para nuestro caso será un motor eléctrico de 13 kW.

- **Sistema de dirección (resumen)**

El sistema de dirección de un vehículo está compuesto por un conjunto de elementos que permiten que un vehículo tome la trayectoria deseada por el conductor con una buena precisión y seguridad. Lo conforman entre otros los elementos de mando, las ruedas y la suspensión.

La cinemática de la dirección no mostrada en este resumen tiene en cuenta las dimensiones de cada uno de los componentes de la dirección. Para este vehículo se seleccionó una dirección comercial de bajo costo de piñón-cremallera. Se realizó el desensamblaje para la medición y el levantamiento de planos; el modelado de las piezas se está realizando en un software de CAD para su posterior análisis.

Figura 5 modelo del sistema de dirección

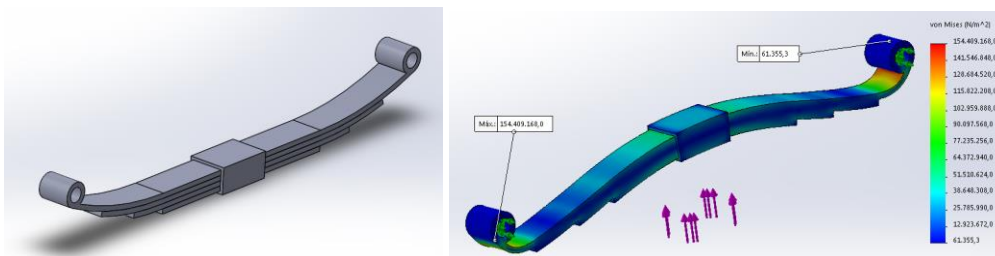


- **Sistema de suspensión (resumen)**

Se ha optado por suspensiones tipo ballestas debido a la naturaleza del vehículo. Se realizó una variación con suspensión independiente tipo McPherson. La determinación de las características elásticas de la suspensión como son deflexión estática, rigidez trasera y delantera no se muestran en este resumen.

Para este vehículo se seleccionó una suspensión comercial tipo ballesta como la mostrada en la figura 6, la cual corresponde a un vehículo de carga media. En el análisis se emplea como el material acero para resortes 5160 con resistencia a la tracción 730 MPa y límite elástico 280 MPa. Los resultados previos muestran un aumento del esfuerzo en el cinemático de la conexión con el chasis.

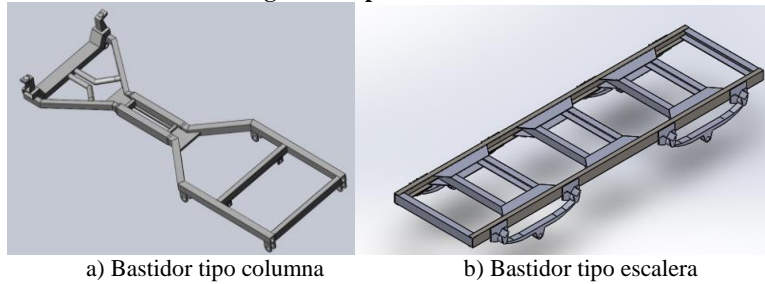
Figura 6. Modelado y simulación suspensión de ballestas



- **Bastidor (resumen)**

Se han seleccionado dos tipos de bastidores para el vehículo (tipo escalera y tipo columna) figura 7. Los bastidores se han modelado en una herramienta de CAD que ha permitido realizar el diseño con base en los otros sistemas; el estudio estructural del modelo generado realiza con la herramienta computacional ANSYS, teniendo en cuenta las condiciones de operación del bastidor y la relación con los demás subsistemas.

Figura 7. Tipos de bastidores



Casos de Carga: para este proyecto se tomaron los siguientes casos de carga [7]

Caso de carga de flexión: se hace reaccionar al vehículo en los planos verticales provocando flexión en toda la estructura, a causa de la distribución de peso de los componentes y la sobrecarga.

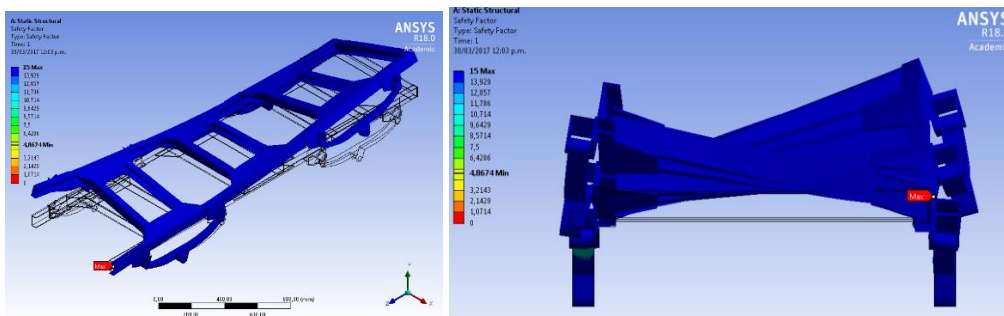
Caso de carga de torsión: La estructura es sometida a un momento aplicado al eje longitudinal central mediante la aplicación de cargas hacia arriba y hacia abajo en las llantas del eje delantero y trasero. Estas cargas producen un efecto de torsión a lo largo del vehículo. (Figura 8)

Combinación de flexión y torsión: los dos casos anteriores son considerados juntos para evaluar las condiciones reales de un vehículo.

Caso de carga de flexión lateral: Esta condición se produce cuando el vehículo toma una curva, provocando una fuerza inercial para compensar la variación de la velocidad radial. Se produce flexión en un plano paralelo al terreno que hacer reaccionar los elementos.

Caso de carga longitudinal: Durante la aceleración y el frenado se generan fuerzas longitudinales. Las aceleraciones y desaceleraciones generan fuerzas inerciales que deben ser compensadas por las ruedas del vehículo. Dependiendo de disposición de los elementos se generan diferentes efectos en la estructura.

Figura 8. Simulaciones para el caso de carga de torsión



Conclusiones

Existen diferentes conceptos relacionados con la dinámica de tracción del automóvil, los cuales son tratados por los autores teniendo en cuenta diferentes parámetros. En este proyecto se estableció como criterio fundamental el modelo que involucra la pendiente del camino y las fuerzas inerciales para seleccionar el sistema de tracción. El vehículo propuesto proyectado tendría la capacidad de movilizarse en terrenos que puedan llegar a pendientes de 10° (~18%).

El vehículo incorpora como fuente de potencia un motor eléctrico de 13 kW, garantizado las necesidades establecidas en requerimientos de diseño, tanto en velocidad (50 km/h) y aceleración, alrededor de $0,9 \text{ m/s}^2$.

El sistema de dirección seleccionado se acopla perfectamente y de acuerdo a sus características proporciona las condiciones adecuadas para el funcionamiento.

En la simulación del chasis y de acuerdo a los estudios parciales realizados de los casos de carga muestra que el chasis tipo escalera presenta un mejor comportamiento (esfuerzos y deformaciones) comparado con el chasis tipo columna.

La simulación es de gran importancia para la evaluación del comportamiento del prototipo virtual sin la necesidad de los ensayos destructivos, sin embargo, es recomendable para futuros trabajos, un diseño de experimentos que permitan obtener resultados reales bajo las condiciones de carga y restricciones contempladas.

Impactos (Social, económico y ambiental).

Colombia y en particular el eje cafetero requiere incentivar el desarrollo tecnológico propio, reduciendo la dependencia por tecnologías importadas. Las creaciones de nuevas alternativas de vehículos con diseño colombiano buscan atacar este aspecto. El vehículo eléctrico abre una opción de transporte sostenible de alto impacto, no solo en lo ambiental, sino en lo social, afectando lo económico además del mejoramiento en la salud, debido a la mitigación de los gases producto de la combustión de vehículos tradicionales.

Bibliografía

- [1] Calle, G. *Aportación y Apropiación de Metodologías de desarrollo de Vehículos para Recreación tipo Buggy*. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica. 2012.
- [2] Romero, C. *Dinámica de Tracción del Automóvil*. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología. 1995.
- [3] Romero, C. Quintana, J. Lagos, E., Tibaquirá, M., *Construcción de un auto deportivo en la Universidad Tecnológica de Pereira*. Scientia Et Technica N° 17. Diciembre 2001.
- [4] Macey, S. Wardle, G. *H-Point: The Fundamentals of Car Design & Packaging*. Design Studio Press. 2012.
- [5] Romero, C. 1995. *Dinámica de Tracción del Automóvil*. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología.
- [6] Gillespie, T. D., “*Fundamentals of Vehicle Dynamics*”, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, PA, 1992.
- [7] Hapian-Smith J., *An Introduction to Modern vehicle Design*, Oxford, 2002