

DISEÑO DE CHASIS PARA VEHÍCULO TIPO BUGGY DE CARGA PARA
TRANSPORTE DE PANELA



NILAM MATEO QUIROGA HERRERA

TRABAJO DE GRADO

DIRECTOR

NIÑO FONSECA JOHANNY FRANCHESCO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ
2022

DISEÑO DE CHASIS PARA VEHÍCULO TIPO BUGGY DE CARGA PARA
TRANSPORTE DE PANELA

NILAM MATEO QUIROGA HERRERA

TRABAJO DE GRADO

DIRECTOR

NIÑO FONSECA JOHANNY FRANCHESCO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ
2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DIRECTOR

FIRMA JURADO

Agradecimientos

A lo largo de mi vida me he encontrado con muchas personas que han aportado a mi crecimiento en todos los aspectos, es por este motivo que hoy a puertas de graduarme como Ingeniero Mecánico, quiero extender mis agradecimientos a:

Dios, primeramente, quien me dio la vida y me ha llevado de su mano por mi recorrido, quien me abrió las puertas de oportunidad para poder seguir mis estudios universitarios.

A mi madre, quien ha sido mi motor permanente, quien se ha esforzado por procurar un mejor futuro para mí, quien me ha animado y fortalecido en los momentos en los que he quiero desistir.

A mi abuela, mi hermano y mi cuñada, quienes siempre han creído en mí y mis capacidades.

A mi tío Orlando Herrera, quien con sus excelentes consejos y el deseo de verme crecer como persona y profesional no ha escatimado consejos para ayudarme.

A mi novia, por su apoyo y acompañamiento que ha tenido en el transcurso de esta meta, con esfuerzo y amor me ha dado alientos para no desistir y al contrario a persistir con mi carrera.

A todos los ingenieros y profesores, que aportaron de su conocimiento y paciencia a lo largo de mi formación académica y profesional.

A la Universidad Santo Tomas, que abrió sus puertas para recibirme como estudiante de su claustro y darme todas las herramientas de aprendizaje para una excelente formación.

Tabla de contenido

Agradecimientos.....	4
Resumen	11
Palabras clave	11
1. Introducción.....	12
2. Formulación del problema	14
3. Justificación.....	18
4. Objetivos	21
4.1. Objetivo general	21
4.2. Objetivos específicos	21
5. Estado del Arte.....	22
5.1. Resultados de bibliometría.....	23
5.2. Análisis de Resultados	27
6. Marco referencial.....	43
6.1. Marco teórico	43
6.2. Marco conceptual.....	43
6.2.1. El triángulo en la construcción.....	44
6.2.2. Chasis.....	44
6.2.3. Carrocería.....	46

7. Metodología.....	47
8. Resultados	52
8.1. Diseño de la estructura	52
8.2. QFD.....	52
8.3. Bocetos	54
8.4. Requisitos técnicos del diseño	58
8.4.1. Datos preliminares.....	58
8.5. Chasis elegido.....	60
8.6. Cálculos	67
8.6.1. Ubicación del centro de gravedad	67
8.6.2. Desplazamiento en acero al carbón	69
8.6.3. Esfuerzo máximo acero al carbón	70
8.6.4. Coeficiente de seguridad acero al carbón	71
8.6.5. Desplazamiento en aluminio 6061	72
8.6.6. Esfuerzo máximo en aluminio 6061	73
8.6.7. Coeficiente de seguridad en aluminio 6061	74
8.7. Momento Z torsión	75
8.8. Momento en el eje X sometido a flexión.....	76
8.9. Especificaciones de ingeniería.....	77
9. Conclusiones y recomendaciones.....	79

10. Referencias Bibliográficas 81

Índice de Ilustraciones

Tablas

Tabla 1. Producción por año de publicaciones a partir de la búsqueda con formulación de ecuaciones por palabras clave	23
Tabla 2. Ruta Metodológica	50

Gráficos

Gráfico 1. Producción de publicaciones por autor entre 2017 y 2020	24
Gráfico 2. Producción de publicaciones por país a partir de la búsqueda con formulación de ecuaciones por palabras clave	25
Gráfico 3. Producción por área de conocimiento	26
Gráfico 4. Asociación por grupo de palabras claves.....	26

Ilustraciones

Ilustración 1. Boceto idea 1.....	54
Ilustración 2. Isométrico boceto 1	55
Ilustración 3. Boceto idea 2.....	56
Ilustración 4. Isométrico boceto 2	56
Ilustración 5. Boceto idea 3.....	57
Ilustración 6. Isométrico boceto 3	58
Ilustración 7. Caracterización de Renault 4	59
Ilustración 8. Especificación de medidas	60
Ilustración 9. Chasis en primera etapa de diseño	62
Ilustración 10. Chasis en etapa definitiva	62

Ilustración 11. Chasis en vista isométrica sin refuerzos	63
Ilustración 12. Chasis en vista lateral	64
Ilustración 13. Chasis en vista frontal	64
Ilustración 14. Chasis en vista superior	65
Ilustración 15. Mallado de estructura 1	65
Ilustración 16. Plano de estructura	66
Ilustración 17. Distancia entre el eje X de centro de gravedad Vs el eje X de diseño .	67
Ilustración 18. Distancia entre el eje Y de centro de gravedad Vs el eje Y de diseño .	68
Ilustración 19. Distancia entre el eje Z de centro de gravedad Vs el eje Z de diseño..	68
Ilustración 20. Desplazamiento en acero al carbón	70
Ilustración 21. Tensión acero al carbón	71
Ilustración 22. Coeficiente de seguridad acero al carbón	72
Ilustración 23. Desplazamiento en aluminio 6061.....	73
Ilustración 24. Tensión en aluminio 6061.....	74
Ilustración 25. Coeficiente de seguridad en aluminio 6061	75
Ilustración 26. Momento Z Torsión	75
Ilustración 27. Momento X Flexión.....	76

Resumen

Este proyecto busca solucionar el problema del transporte de los productos que siembra, produce, procesa y comercializa el campesinos del presente estudio de caso. Para dar una solución a esta problemática, se propone el diseño de un vehículo tipo *buggy* con la implementación de autopartes de Renault 4. Se realizó visita técnica a la finca Santa Barbara en Arbeláez donde se necesita dar solución, reconociendo los trayectos caminos como también las autopartes. Posteriormente, se desarrollan los bocetos con el análisis del QFD, se escoge el que cumple con los requerimientos, se diseña en Autodesk Inventor Professional 2020; y se aplican las teorías en el programa para determinar su eficacia, se hace uso de toda la información investigada acerca del diseño, construcción, usos y demás acerca del *buggy*. Se precisan las especificaciones de ingeniería, caracterización y medidas del Renault 4 para implementarlas en el diseño. Finalmente, y luego de todo el proceso de diseño y aplicación de teorías, como la elección del material, se recomienda la fabricación del *buggy* diseñado para aportar a la solución de transporte de productos campesinos, ya que cumple con el propósito de este trabajo.

Palabras clave

Buggy, chasis tubular, transporte, panela, vías

1. Introducción

El problema de la infraestructura vial en Colombia, no es un tema nuevo, por el contrario, este se ha venido presentando por décadas, cada gobierno ha generado esfuerzos para poder solucionarlo sin tener resultados óptimos y que en realidad solucionen el problema del campesinado para poder comercializar sus productos.

Teniendo en cuenta que soluciones prontas y viables no son posibles para poder construir vías que conecten las zonas rurales con las vías principales, es necesario acudir al diseño de un vehículo que solucione esta problemática. El propósito principal de este proyecto es el diseño de un chasis para un vehículo tipo *buggy* de carga para el transporte de panela en la finca Santa Bárbara.

Para dar cumplimiento a lo anterior, se dispuso la visita técnica al Corregimiento La Olla en Arbeláez donde está ubicado el trapiche que procesa la caña de azúcar para producir la panela, luego distribuirla y comercializarla. Se realizó el reconocimiento de los caminos y trayectos por donde será usado este vehículo, como también las autopartes que se implementaran en este. Posteriormente, se procedió al trabajo de investigación para definir las especificaciones de este tipo de vehículo *buggy*, en cuanto a materiales, medidas y componentes mecánicos. En este proceso de investigación en la base de datos Scopus, se pudo evidenciar algunos artículos científicos que evidencian diferentes tipos de modificaciones y usos que se les han dado a los vehículos tipo *buggy* en el área de la ingeniería, ello representa un importante aporte para la tecnología, la ciencia, la salud, el medio ambiente, la ingeniería mecánica, la seguridad vial y en muchos otros aspectos.

Estos artículos, junto a la consulta de dos tesis, aportaron una información importante para el diseño del chasis de este caso. A continuación, el lector encontrará que, se introduce la información en el QFD, se realizaron los bocetos de acuerdo a la información de la casa de calidad y se comparan entre sí, para evaluar los diseños conceptuales de los chasis resultantes a partir de la matriz QFD, para seleccionar el diseño que cumpla con los requerimientos del cliente. Por último, se realizaron los diseños de los chasis en el programa Autodesk Inventor Professional 2020, con las herramientas que este posee; ello permitió recopilar la información acerca de las teorías de ingeniería que se aplican a estos diseños como son fuerza, momentos, rigidez a torsión, rigidez a flexión, esfuerzos y factor de seguridad; información que permite evidenciar que el chasis elegido cumple eficientemente con las características para su uso, así mismo determinando el tipo de material óptimo para su fabricación. También se definió a través de este programa, el tipo de chasis más seguro, que para el presente caso es el chasis tubular con jaula.

Realizado el proceso de investigación, diseño y resultados, se concluye que el diseño del chasis de *buggy* para carga, es la solución para el campesinado en cuanto al transporte de sus productos, en este caso la panela. Este proyecto tiene la limitación de no ser fabricado por el autor pues está dirigido solamente al diseño, pero en el evento de ser fabricado, la información aquí condensada es segura y útil para este proceso.

2. Formulación del problema

Los campesinos en Colombia, históricamente han estado sometidos al olvido y son el sector más vulnerable de la economía. No se les reconoce el valor de su trabajo, aun siendo de quienes depende la seguridad alimentaria del país, aportando de tal manera en la calidad de vida y bienestar de los colombianos. El 70% de los alimentos que se consumen en el país son producidos por sus campesinos; a pesar de esto, se deben enfrentar a diversos problemas para poder producir, transportar y comercializar sus productos (Comisión De La Verdad, 2020).

Esta historia de olvido se hace más notoria desde hace cerca de cincuenta años, al tratar de establecer en diferentes momentos reformas agrarias que beneficiaran a los campesinos en cuanto a la tenencia de tierras, el establecimiento de precios justos para sus productos, la facilidad para comercializarlos, situación que hasta los días de hoy no han tenido solución, toda vez que el problema del narcotráfico apropiándose de tierras y desplazando al campesino ha agudizado esta problemática, además de la siembra de cultivos ilícitos impidiendo la producción de alimentos necesarios para Colombia.

Cabe anotar que el gobierno nacional propuso en la década de los cincuenta gravar la propiedad rural, forzando a los grandes terratenientes a poner sus tierras en venta y así descentralizar la tenencia de las mismas, propuesta que no tuvo éxito toda vez que no era beneficiosa para los grandes poseedores de dichas tierras (Machado, 2012).

En este momento los productores de panela en Arbeláez cuentan con el sistema milenario de transporte que son las mulas de carga, animales criados para tal labor, este tipo de transporte si bien se ha usado por mucho tiempo no es el más conveniente para su actividad.

Fotografía 1. *Vía de acceso a la finca Santa Bárbara*



Fuente: Autor

Debido al abandono que el campesinado ha vivenciado por parte del Estado y de las entidades privadas, han tenido que sufrir padecimientos para comercializar sus productos, trayendo como consecuencia el desanimo para seguir ejerciendo la siembra, que los jóvenes quieran emigrar a las grandes ciudades, que se detenga el crecimiento económico y social, que al no haber una producción sostenible de alimentos se suba el precio de los mismos, que sea necesario la importación de estos, entre otras situaciones.

Es por esto que es importante mejorar el transporte de panela, con un vehículo que sea de fácil y económico mantenimiento, además que esté al alcance del presupuesto de los campesinos, situación que no ha sido atendida por parte del gobierno para darles alternativas para la solución de este problema. El hecho de no contar con un sistema de transporte que cumpla con características mínimas como son acceso básico como se puede evidenciar en la Fotografía 1, refiriéndose al conjunto de caminos rurales transitables aptos para el tránsito de sus productos, que haya disponibilidad del servicio para el momento en que se requiera, de bajo costo, es decir, que no afecte la ganancia final, seguro tanto para la integridad del campesino como de los productos, dificulta la comercialización en las grandes ciudades y lo deben hacer en las veredas cercanas (Catalan, s.f.).

Esta situación, es el resultado de la deficiente infraestructura de la malla vial del área rural y sus cercanías. El 70% de las vías en Colombia son pavimentadas y pueden soportar ciertas características de transporte de carga y el 24% son vías en tierra que son difíciles y peligrosas de transitar (Bejarano, 2019). Ejemplo de ello, es el caso que se presenta en el corregimiento “La Olla” en Arbeláez (Cundinamarca), en el sector panelero. En el presente trabajo se realiza un estudio de caso del señor Bertulfo Ramírez, quien tiene una finca donde cosecha caña de azúcar y produce panela, allí se evidencia que el transporte que utiliza para comercializar la panela, incide en el costo final de la misma reduciendo así las ganancias y afectando la calidad de vida del mismo.

A través de los años, Bertulfo ha ido adquiriendo diferentes partes mecánicas de un Renault 4, con el propósito de ser usadas en un vehículo que le facilite el transporte de su producto final desde el trapiche hasta la carretera principal (véase Fotografía 2)

Fotografía 2. Trapiche de la asociación



Fuente: Autor

Según lo planteado anteriormente, y con el ánimo de aportar un tipo de solución al problema de transporte de panela desde la ingeniería mecánica, surge la pregunta: ¿De qué manera el diseño de una estructura metálica para un vehículo de carga, posibilitaría la mejora en el transporte de panela a partir del aprovechamiento (re-uso) de partes y/o repuestos mecánicos para el caso de la finca Santa Bárbara?

3. Justificación

A lo largo de la historia de Colombia, el campesinado colombiano se ha tenido que enfrentar a diferentes situaciones adversas para poder transportar y comercializar sus productos, siendo este sector una parte importante en la economía de cualquier país, pero tan olvidados tanto por el sector privado como por el Estado.

Desde la antigüedad han usado diferentes y arcaicos medios para transportar sus productos, situación que los ha llevado a tener pérdidas en sus cosechas y producciones, a no tener una buena economía, a no tener suplidas sus necesidades primordiales y a pasar vicisitudes en todos los sentidos. Se puede señalar que entre los medios de transporte de sus productos se incluyen el llevarlos al hombro, a pulso, en mula o a caballo, en vehículos de costoso mantenimiento, en vehículos de uso personal o pagar altos valores por su acarreo.

Es a raíz de esto que surge la idea de diseñar el chasis de un vehículo tipo *buggy* para carga, aprovechando de forma eficiente diferentes partes mecánicas de un Renault 4, de tal manera solucionar de forma económica y ágil el transporte del producto final, que en este caso es la panela que se produce en el trapiche. Dado a que la generación de jóvenes campesinos por falta de oportunidades y apoyo están migrando hacia las ciudades, provocando que la fuerza laboral que queda es la de los adultos mayores, este diseño beneficiaría a estos adultos al tener un medio de transporte práctico, ligero y económico para seguir con su actividad agrícola, productora y comercial.

En el mercado existe variedad de vehículos de carga, como el CAN-AM DEFENDER (Imagen 1) que tiene un precio desde \$73.990.000 (Coches, 2020), CHANGE FREEDOM PICK UP (Imagen 2) que tiene un precio desde \$42.900.000 (Automotriz, 2019) y KARGUERO 3W 200 (Imagen 3) con un precio desde \$11.490.000 no incluye matricula ni soat (MOTOS, 2021); estos modelos les serviría a los campesinos para el transporte de sus productos, pero es importante resaltar que por el alto valor de estos, la falta de ahorros, los requisitos para adquirir un crédito y sobre todo por la falta de apoyo y el olvido del gobierno, es realmente imposible la adquisición de un vehículo de esta clase.

Imagen 1. CAN-AM DEFENDER



Fuente: Los Coches

Imagen 2. CHANGE FREEDOM PICK UP



Fuente: China Automotriz

Imagen 3. KARGUERO 3w 200



Fuente: AKT MOTOS

El diseño de este tipo de *buggy*, de ser fabricado, puede ser utilizado no solo en el transporte de panela como en este estudio de caso, sino también en el transporte de insumos, de implementos para el hogar, transportando los niños campesinos desde sus veredas hasta el lugar de estudio y todos los usos que se le puedan dar en pro del bienestar de los campesinos, además desde la ingeniería mecánica este proyecto aporta información valiosa para implementar modificaciones o crear chasis para vehículos con las especificaciones aquí sustentadas, dejando abierta la opción en cuanto tiene que ver con los demás componentes mecánicos como suspensión, dirección, sistema de frenos, llantas y accesorios en general, según los requerimientos del diseño en su momento.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Diseñar un chasis para un vehículo tipo *buggy* de carga para el transporte de panela en la finca Santa Bárbara.

4.2. Objetivos específicos

- Identificar las especificaciones de ingeniería del chasis de vehículo tipo *buggy* para el transporte de panela.
- Evaluar los diseños conceptuales del chasis de vehículo tipo *buggy* para el transporte de panela resultantes a partir de la matriz QFD.
- Elaborar la ingeniería de detalle del diseño del chasis de vehículo tipo *buggy* propuesto por medio de un software CAD/CAE

5. Estado del Arte

Para la elaboración del estado del arte se elaboró un ejercicio de análisis bibliométrico que se hizo en función de la búsqueda de información científica y algunas tesis, que permitieran la fundamentación del marco teórico de la propuesta del presente trabajo de grado orientado al diseño de chasis para vehículo tipo *buggy* de carga para transporte de panela.

Se tuvo en cuenta como principal punto de partida, la pesquisa de publicaciones en la base de datos Scopus que contuvieran palabras claves asociadas a los objetivos general y específicos, y a la pregunta de investigación. A partir de ello, se organizó una base de datos con 16 entradas bibliográficas y el análisis bibliométrico se realizó a partir de los siguientes criterios: palabras claves, autores, disciplinas y núcleos temáticos.

El ejercicio de búsqueda de información científica se realizó a partir de la consulta en la base de datos Scopus, que en la actualidad cuenta con al menos 54 millones de registros de publicaciones científicas de alta calidad en todas las áreas del conocimiento (Elsevier 2015). Se tuvieron como criterios de selección los siguientes aspectos:

- Para cada palabra clave se seleccionó un conjunto de palabras asociadas a la producción de información científica permitieron la formulación de una ecuación de búsqueda a través de operadores booleanos.
- Filtro por disciplinas: se localizaron artículos asociados a la ingeniería y ciencias computacionales, y otras disciplinas asociadas

- Filtro por temática: se escogieron documentos que abordaran directamente los temas asociados a modificaciones hechas a vehículos tipo *buggy*.

5.1. Resultados de bibliometría

El ejercicio de búsqueda de información científica se desarrolló desde la formulación de una única ecuación con operadores booleanos que dio como resultados una base de datos de 26 documentos. Posterior a ello, se decantó la búsqueda con una estructuración a partir de la revisión bibliográfica que permitiera la refinación del resultado, teniendo en cuenta los artículos científicos que están directamente asociados a temas relacionados con carros estilo *buggy*, ello generó una selección de 16 documentos.

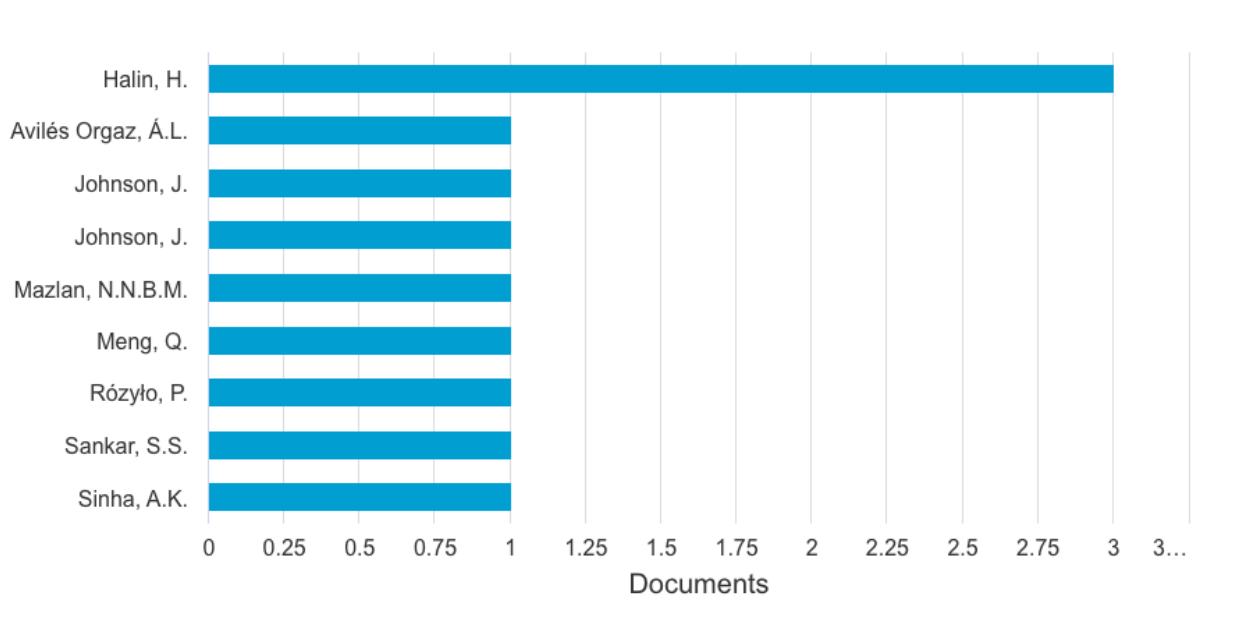
Los datos se distribuyeron entre la cantidad de artículos por año (tabla 1), por país (gráfico 1) y por área del conocimiento (gráfico 2). Asimismo, se analizaron datos de manera cualitativa por asociación de palabras claves (gráfico 4).

Tabla 1. Producción por año de publicaciones a partir de la búsqueda con formulación de ecuaciones por palabras clave

Año	Nº de documentos
1986	1
2003	1
2005	1
2011	1
2014	1
2017	1
2018	4
2019	2
2020	4

En la producción por año se observa que las publicaciones se empezaron a generar de manera intermitente desde el año 1986 hasta la fecha, y un volumen bajo de publicaciones hasta el 2017. A partir del año 2018, la tendencia empieza a aumentar debido a la producción científica de autores como Avilés, Böttcher y Xydis (2020), Hallin et.al. (2018a, 2018b, 2020), Johnson et.al. (2020), Mazlan, Thamrin y Razak (2020), Meng y Liu (2017), Rózyło (2019), Sankar (2018) y Sinha et.al. (2019) (véase gráfico 1).

Gráfico 1. Producción de publicaciones por autor entre 2017 y 2020

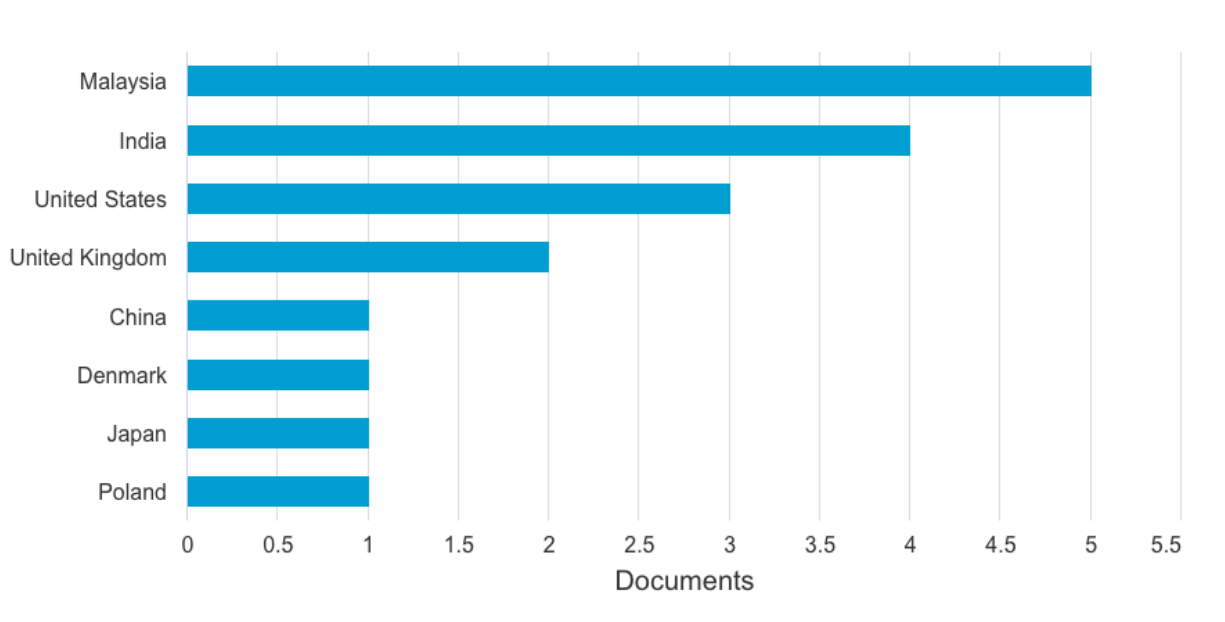


Fuente: Scopus

En las publicaciones por país (gráfico 2), se destacan 8 países donde se concentra el 100% de la producción científica. Se observa como país de mayor productividad Malasia con 5 publicaciones. Seguidamente, se encuentra India con 4 publicaciones, Estados Unidos con 3, Reino Unido con 2 y China, Dinamarca, Japón y Polonia con una

publicación respectivamente. Es importante destacar la ausencia de publicaciones a nivel latinoamericano.

Gráfico 2. Producción de publicaciones por país a partir de la búsqueda con formulación de ecuaciones por palabras clave



Fuente: Scopus

En cuanto a la producción por área de conocimiento (gráfico 3), la mayor parte del trabajo se agrupa en la disciplina de la ingeniería (48,4%) y ciencias de la computación (16,1%), juntas constituyen el 64,5 % de la producción académica; el 35,5 % restante está concentrado en áreas a fines exceptuando la disciplina de la medicina.

5.2. Análisis de Resultados

Los documentos consultados tienen como tema central ejercicios de modificación de vehículos tipo *buggy* con diferentes finalidades, a continuación, se presenta un breve recorrido cronológico por los aportes generados desde diversas disciplinas y autores frente a dicho tema.

En el campo de la modificación de vehículos tipo *buggy* un trabajo pionero fue el de Shabana (1986) *Dynamics of inertia-variant flexible systems using experimentally identified parameters*, en este trabajo se planteó la implementación de un sistema dinámico o parámetros modales (frecuencia, amortiguación y formas de modo), con experimentos de técnicas de estimación para simular y predecir el comportamiento dinámico de sistemas multicuerpo flexibles que consisten en componentes rígidos y flexibles interconectados.

Las ecuaciones diferenciales del sistema de movimiento y las ecuaciones de restricción algebraica que describen las uniones mecánicas en el sistema se identificaron utilizando técnicas analíticas. Los parámetros dinámicos como los coeficientes de masa, amortiguación y rigidez que aparecen en las ecuaciones diferenciales del sistema se identificaron utilizando un conjunto de datos medidos experimentalmente. Las formas de modo que son el resultado de la identificación experimental se emplearon para escribir las coordenadas elásticas físicas de los puntos nodales seleccionados en el cuerpo flexible en términos de un conjunto reducido de coordenadas modales. Las ecuaciones de restricción diferencial y algebraica no lineal se escribieron en términos de conjuntos mixtos de referencia acoplada y coordenadas modales.

Finalmente, estas ecuaciones se acoplaron numéricamente utilizando una técnica de integración numérica directa junto con iteraciones de tipo Newton-Raphson para verificar las violaciones de restricciones; para este caso, la formulación desarrollada se ejemplificó numéricamente utilizando un modelo de vehículo de *buggy* de dunas tridimensional.

De otra parte, Debenest, Fukushima y Hirose en su trabajo *Proposal for automation of humanitarian demining with buggy robots*, publicado en el 2003, presentaron una experiencia sobre la construcción de un sistema de desminado humanitario con la utilización de un robot móvil. En los países que sufren guerras, este tipo de minas representan un peligro constante para la población en general.

Este problema exigía que el sistema tradicional de desminado y detección fuera implementado por uno que sea mucho mas eficaz. De esta manera este trabajo fue pionero y de gran aporte la creación de un robot de plataforma móvil para todo tipo de terreno que fuera versátil y factible. Este sistema consiste en un *buggy* autónomo de cuatro ruedas “Gryphon” dotado de un manipulador que realiza la tarea de detección y desminado. Para desarrollar este proyecto se realizaron las correspondientes investigaciones del sistema robótico y se procedió a los experimentos en campo real. Este proyecto, se generó un importante aporte a países con situaciones de guerras, al bienestar y seguridad de los ciudadanos en general.

En 2005 se llevó a cabo el *Student projects: Hands-on experience with mechanical engineering technology*, experiencia sistematizada por Foroudastan y Campbell. El proyecto fue llevadi a cabo en la Universidad Estatal de Middle Tennessee (MTSU), a

28

través del Departamento de Tecnología de Ingeniería (ETD), con el cual sus estudiantes desarrollaron proyectos de fabricación de un vehículo solar, un barco solar, un auto de fórmula, *muni* baja y un *moon buggy*, que fueron de gran éxito en el país, además que constituyó un ejercicio estimulante para la investigación universitaria.

Este programa permitió a los estudiantes tener experiencias reales en el diseño y fabricación de los vehículos, adquiriendo destrezas en la resolución de problemas de la vida real. Para implementar este proyecto, los alumnos más antiguos y experimentados respaldaron, enseñaron y apoyaron a los estudiantes más nuevos, formando así equipos de trabajo certeros y competitivos capaces de enfrentar retos que se presentaran. Con este método se logró implementar el programa de estudios que la Universidad ofrece a sus estudiantes preparándolos para los desafíos laborales. Como resultado de este proyecto, se puede evidenciar un mayor ingreso de estudiantes nuevos a la Universidad, menos deserción de estudiantes activos, ayudarlos a descubrir sus habilidades en el diseño y construcción de vehículos para competencias nacionales e internacionales, fomentar la investigación, el liderazgo, las habilidades de comunicación y gestión.

Desde otro contexto, el artículo *Conversion of a dune buggy to a hybrid vehicle as a systems design course Project* (Yilmaz, 2011), hace referencia a la conversión de un *buggy* de dunas con motor a gasolina a un motor híbrido. Este proyecto se realizó con un *buggy* modelo antiguo que se adquirió para implementar en él los conocimientos y destrezas de estudiantes universitarios. Los estudiantes de diferentes semestres, desde el 2009, invirtieron su tiempo de estudio y laboratorio en la puesta en marcha de este vehículo.

En 2009 un grupo de cuatro estudiantes realizaron la conversión del *buggy* en un vehículo híbrido. Para esto, dedicaron la primera mitad del semestre a la investigación y discusión acerca de todos los detalles, y la segunda mitad del semestre a construirlo en el laboratorio de la Universidad. Al finalizar el semestre se puso en marcha, pero falló el sistema de embrague magnético. Para el segundo semestre del 2009, otro de los estudiantes cambió el embrague magnético por uno centrifugado y modificó el cableado, logrando ponerlo en marcha. En el 2011, dos más de los estudiantes se enfocaron en cubrir áreas de seguridad del *buggy* y a pintarlo. Este proyecto es de gran aporte en el aspecto académico, toda vez que permitió a los estudiantes desarrollar competencias y habilidades en el transcurrir de sus estudios, permitiéndoles adquirir experiencia y resolución de problemas.

Das, Unnikrishnan, Shankar y Freeman (2014) en su trabajo *Fabrication and testing of the suspension subsystem of a single seater off-road buggy*, indagaron sobre el diseño, fabricación y pruebas realizadas a un sistema de suspensión para *buggy*, monoplaza o todoterreno. Se diseñó un sistema de doble horquilla para la parte delantera y brazo semi-arrastre para la parte trasera, mejorando el impacto del camino y las condiciones para el piloto, sin desmejorar el rendimiento mecánico del vehículo.

El propósito de este estudio fue reducir las fuerzas de aceleración que actúan sobre el centro de gravedad y contrastarlo con las fuerzas sobre los puntos críticos del *buggy*. Se consideraron las limitaciones del diseño, posterior a ello se realizó un diseño que cumpliera con los requerimientos, en ANSYS se analizó la estática y en MSC ADAMS la dinámica del diseño. Finalmente, el prototipo se llevó a campo para ser probado en

terreno real, haciendo uso de sistemas para recopilar datos de aceleración en diferentes condiciones de conducción, y grabando video para determinar la funcionalidad de las ruedas y la suspensión. En el caso de estudio del buggy de panela, para su posterior fabricación, se puede tener en cuenta este tipo de suspensiones, toda vez que aporta seguridad también a la carga y previene futuras fallas por fatiga en la estructura. Su aporte en la ingeniería mecánica ayuda a mejorar los sistemas de suspensión para dar mejor confort al piloto y mayor eficiencia al vehículo.

Autores como Meng y Liu (2017) en su investigación *Study on immune PID control method of an in-wheel motor used in an electric car*, presentan un ejercicio sobre el método de control inmune Proporcional Integral Derivativo (PID) para un motor en la rueda de un vehículo eléctrico. Los motores para las ruedas suelen tener problemas como retardo de tiempo, tiempo variable y no lineal, y es muy complejo construir un modelo matemático funcional.

Para darle solución a este problema, se planteó un control PID inmune, basado en algoritmos artificiales. Este considera el índice de rendimiento como antígenos y tres factores de ganancia como solución considerados anticuerpos, los cuales son sometidos a mecanismos que pueden hacer que este motor en la rueda funcione de manera óptima y mejore notoriamente el control de mismo.

Los autores expusieron diversas formas para mejorar este PID tradicional, como, por ejemplo, el método de redes neuronales, el método difuso, el método de algoritmo genético, el in-telligent, el PID experto, el inmune difuso, etc. Este estudio aporta conocimiento práctico para ser implementado en los vehículos eléctricos tipo *buggy* y

modelos afines a este. Se pudo concluir con este estudio que el método PID tradicional no es tan eficiente y funcional como el PID inmune en cuanto al rebasamiento y ajuste.

Por otra parte, el trabajo *Suspension design and testing of an all-terrain vehicle using multi-body dynamics approach* (Sankar, 2018), muestra la importancia de diseñar una suspensión apropiada y resistente para un vehículo *buggy* o todoterreno. Estos vehículos son usados en actividades de competencias y recreativas, por lo que es necesario garantizar que el sistema de suspensión tanto trasera como delantera proporcionen el rendimiento adecuado en la conducción y el manejo, así como estabilidad en la dirección, minimizar las vibraciones de alta frecuencia ocasionadas por los neumáticos, el equilibrio entre la amortiguación y la rigidez de la suspensión garantizando los fuertes impactos al piloto.

En este caso, se realizó un estudio e investigación previa acerca de los sistemas de suspensión; para desarrollar este diseño se utilizó el software MSC.ADAMS, realizando simulaciones en tiempo real lo que permitió un diseño que cumpliera con más precisión los requerimientos. Para la ingeniería automotriz es un gran aporte este tipo de investigaciones, dado que permite la implementación de sistemas de suspensión más robustos y precisos no solo para los *buggies* sino para cualquier otro tipo de vehículo con estas características. Se puede concluir que este tipo de diseños en la suspensión además de darle al vehículo valor agregado en su funcionalidad, también asegura el bienestar del piloto.

También se destaca el trabajo de Sinha et.al (2019), *Performance enhancement of an all-terrain vehicle by optimizing steering, powertrain and brakes*, donde se presenta la mejora del rendimiento de un vehículo todo terreno mediante la optimización de la dirección, el tren motriz y los frenos. Se centra en la optimización del peso y la mejora del rendimiento del *buggy* mediante la realización de modificaciones en el sistema de dirección y transmisión del vehículo.

Se desarrolló un modelo matemático y se comparó con el resultado obtenido de ADAMS/CAR. Las decisiones se tomaron teniendo en cuenta los aspectos de seguridad, conducción, confiabilidad, maniobrabilidad, manufacturabilidad y rendimiento del vehículo. El uso principal de este vehículo en especial, es el recreativo pues está diseñado para soportar terrenos difíciles y que da un valor agregado al factor emoción del piloto. Teniendo en cuenta los aspectos mecánicos de éste, se rescata su aporte desde la ingeniería automotriz para realizar las modificaciones que para el caso del *buggy* de transporte de panela, serán de gran importancia para disminuir el peso final del vehículo, hacerlo más ligero y más económico en combustible y autopartes, además de poderse implementar los sistemas de dirección, transmisión y frenos para hacerlo más eficiente.

Al finalizar la fabricación de este vehículo, los autores evidenciaron que las modificaciones a los sistemas de dirección, transmisión y frenos, dieron los resultados esperados, mejorando notablemente la relación de la dirección, por los materiales en que fue elaborado, la transmisión CVT es preferida por ser más eficiente en los terrenos

difíciles, el tamaño de los discos de frenos aporta mejor distancia de frenado y disminuye el peso del *buggy*.

Otro trabajo destacado es el de Rózyło (2019) *Passive safety of a buggy-type car in the aspect of a dynamic analysis of the frame. Acta Mechanica Et Automatica*, esta investigación se centró en la seguridad pasiva de un auto tipo *buggy*, ello tiene que ver con todos los sistemas que se pueden implementar en un vehículo para garantizar la seguridad del piloto y sus ocupantes en caso de un choque de gran impacto.

En este caso la seguridad pasiva se centra en el bastidor o chasis, que es la parte estructural a la cual van anclados los demás componentes del vehículo. La importancia de este análisis radica en la preocupación por el cuidado de los ocupantes del vehículo y de otros actores viales, en cuanto tiene que ver con la accidentalidad en las carreteras.

Para desarrollar este diseño se utilizaron los *software* CAD de *Inventor* y *Abaqus* 6.14 CAE. El material seleccionado se obtuvo de la base de datos del programa *Inventor*, el correspondiente análisis numérico se desarrolló con elementos finitos. Se realizaron simulaciones para el análisis dinámico en el programa para determinar las zonas más sensibles del chasis a impactos fuertes. Este tipo de estudios son importantes y de gran ayuda en el campo del diseño y la construcción de vehículo en general, no solo de los *buggies*, sino de cualquier otro, toda vez que ayuda en el mejoramiento de los chasis para que soporten los impactos de choque y no haya pérdida de vidas humanas. En este caso se puede concluir que es necesario realizar pruebas en los diseños y materiales de fabricación de los vehículos, no solo en la zona de impacto sino del bastidor o chasis completo, esto reflejara menos registros de mortalidad en los choques de alto impacto.

Por otra parte, autores como Halin et. al. (2018a, 2018b, 2020), han realizado varias investigaciones teniendo como punto de partida la tecnología *fuzzy* o lógica difusa: “Path tracking simulation of the *buggy* car by using fuzzy information of the steering Wheel”, “Investigation of steering wheel control of an electric *buggy* car for designing fuzzy controller” y “Design simulation of a fuzzy steering wheel controller for a *buggy* car”.

Estas investigaciones versan sobre las posibilidades de controlar vehículos autónomos, con un controlador del volante (una forma de control remoto), a través de la tecnología de lógica difusa. El propósito de esta investigación es implementar la capacidad de conducción humana en el controlador *fuzzy*, como por ejemplo la capacidad de tomar una decisión basada en la situación actual, ello es correspondiente con la presente investigación.

El sistema difuso se desarrolla con base en datos de conducción humana mientras se controla un *buggy*. Los autores realizaron recopilación de datos (experimentos de conducción con un piloto) del conductor mientras maniobra el *buggy*, como la posición de coordenadas, el ángulo del volante, el rumbo y la velocidad del automóvil de cada piloto mientras conducen por el mismo camino. El camino para los experimentos consistió en maniobras de giro recto, izquierdo y derecho. El rendimiento del controlador *fuzzy* desarrollado fue validado en la simulación. Este tipo de controlador con tecnología *fuzzy* aporta al desarrollo de sistemas automatizados, que permitiría a los vehículos autónomos seguridad y confort, además que puede disminuir el riesgo de accidentes en carretera. Teniendo en cuenta los aspectos de dicha tecnología, se rescata su aporte desde la ingeniería automotriz para realizar posibles modificaciones para un sistema de vehículo

autónomo, que para el caso del *buggy* de transporte de panela, serían de gran innovación, toda vez que podría ser operado a control remoto, haciendo más eficiente el trabajo de este en el transporte de la panela. Realizados los experimentos y poniendo en funcionamiento el controlador, se concluye que se deben hacer ajustes a este, toda vez que presenta fallas en el seguimiento de la trayectoria y el ángulo del volante muestra una gran desviación de los datos de referencia.

En esta misma línea se encuentra el trabajo de Mazlan, Thamrin y Razak (2020) *Comparison between ziegler-nichols and AMIGO tuning techniques in automated steering control system for autonomous vehicle*, en este artículo se demuestra la comparación entre dos sistemas de control de dirección automatizada. Entre la técnica de *Ziegler-Nichols* contra la técnica del sistema Amigo, que utilizan el controlador PID en un vehículo autónomo, para implementar los respectivos ajustes y comparar el rendimiento de los métodos, para el control del ángulo de dirección real y mejorar el rendimiento de la misma.

Para desarrollar estas pruebas, se realizaron simulaciones en laboratorio con un prototipo de *buggy* que reemplaza al vehículo autónomo, aplicando diferentes sistemas tecnológicos (Raspberry Pi3B+) para establecer el ángulo de entrada en el giro del neumático, recopilando y analizando esta información para establecer cuál de los dos es el mejor método. Los autores pudieron establecer que el sistema Amigo es el de mejores resultados para los vehículos autónomos. En la actualidad este sistema es de ayuda en la conducción de vehículos, dado que están configurados para reaccionar ante situaciones en tiempo real, como, por ejemplo el frenado automático, que evita accidentes en la carretera, choques entre vehículos y accidentes con peatones, además que muchos

cuentan con el dispositivo GPS que permiten la ubicación de coordenadas, direcciones, rutas y rastreo de los vehículos.

Este tipo de tecnologías aportan a una mejor conducción, como también a un mejor estilo de vida de quien los conduce; en el campo se está implementando con el fin de reducir la cantidad de trabajo en horas a través de un tractor autónomo. Sobre este artículo se puede concluir que los vehículos autónomos con sistema Amigo son los más capaces para reaccionar en tiempo real a la solicitud del sistema de dirección, salvando así vidas y disminuyendo las estadísticas de accidentalidad.

Otro trabajo destacado es el de Johnson et. al. (2020) *Design of mechanized buggy for the removal of solid wastes from drainages*, en este documento se presenta la implementación de un diseño para un vehículo tipo *buggy*, que desarrolle componentes de limpieza para drenaje, que consiste en un volante de mano, una cadena, un conductor, un cucharón y un bastidor. Su propósito principal consiste en reemplazar el trabajo de recolección manual en los drenajes y proteger de los peligros ambientales mediante la eliminación de desechos del sistema de drenaje, los cuales deben ser eliminados correctamente para evitar obstrucciones en los mismos.

Aunque no se puede identificar una metodología clara se deduce que se realizó un diseño de los componentes del *buggy*, se seleccionaron los materiales para ser fabricados, se procedió a la fabricación de estos y posteriormente a la prueba de estos implementados en el vehículo. Cabe anotar que se desarrolló una importante investigación en el campo del medio ambiente y de la salud con respecto a los perjuicios del inadecuado manejo de los residuos y del aprovechamiento de los mismos; esta

investigación genera un avance científico dado que permite darles un mejor manejo y clasificación, evitando así la proliferación de enfermedades graves y posibles inundaciones. Respecto a su aporte desde la ingeniería mecánica, y que para el caso del *buggy* de transporte de panela se podría retomar, constituye la facilidad que tiene este tipo de vehículo para ser adaptado y transformado según la necesidad que se presente.

Es importante destacar otros aportes realizados a temas asociados a la crisis ambiental global donde también se encuentran los trabajos de Sakidin et.al. (2018) y Avilés, Böttcher y Xydis (2020). De esta manera, la investigación *Development of solar powered buggy charging station* (Sakidin et.al., 2018), evidencia la importancia de la implementación de energías más limpias como la solar, la forma de aprovecharla y su impacto en el favorecimiento y cuidado del medio ambiente. La energía solar es una energía renovable, que se está utilizando en muchos aspectos de la vida diaria. La Universiti Teknologi Petronas (UTP), desarrolló e instaló una estación de suministro de energía solar para los vehículos en la Oficina de Administración y Mantenimiento de Propiedades (PMMO), haciendo uso de paneles solares, el voltaje máximo de carga del sistema es de 150V a una velocidad de 45 A y una eficiencia del 98%.

Esta iniciativa surgió a raíz de que los lugares de estacionamiento estaban siendo desaprovechados en las empresas y universidades, pudiendo ser transformada esa energía a través de paneles fotovoltaicos. El aprovechamiento de este recurso finalmente se ve reflejando en el ahorro de energía o combustible, así como en el impacto ambiental al no haber emisiones de gases efecto invernadero que contaminen el medio ambiente, así mismo en la vida útil de las baterías de estos vehículos.

Para la implementación de este proyecto se realizaron estudios para determinar el consumo de energía de cada *buggy*, las dimensiones de los módulos fotovoltaicos, las dimensiones del controlador de carga y de las baterías. La implementación y puesta en marcha de esta estación de energía solar ha aportado en la disminución del consumo de combustible de estos vehículos, además del cuidado del medio ambiente evitando así el efecto invernadero que tanto daño le está haciendo al planeta. En un futuro no muy lejano es probable que todos los vehículos sean movidos por este tipo de energía y se pueda salvar el planeta de la contaminación.

Bajo esta misma orientación el trabajo *Solar-powered golf buggies charging on the road. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects* (Avilés, Böttcher y Xydis, 2020), evidencia la forma cómo a través del uso de la energía solar se puede implementar la carga de la batería para los *buggies* que se usan en los campos de golf. La idea surge a raíz de que estos vehículos no pueden ser cargados de energía en medio de las rondas o finalizado su uso, toda vez que no se cuenta con el tiempo suficiente para hacerlo.

Los autores propusieron implementar paneles que funcionen con energía solar en los *buggies*, dado que es energía renovable y se puede hacer uso de ella mientras los vehículos están en el campo de golf. Para desarrollar este proyecto, se tomaron datos de teledetección a través de un *software* y la verificación de estos con el Centro de Datos de Ciencias Atmosféricas de la NASA (2018) y con otra serie de datos recopilados en un club de golf donde se implementó. Adicional, se realizó el diseño del sistema de paneles solares, los cálculos y el análisis económico. Aunque en este proyecto se identifica su

uso recreativo y deportivo, puede ser implementado en otros tipos de vehículos. Cabe destacar a su aporte desde la ingeniería mecánica y que para el caso del *buggy* de transporte de panela, se podría plantear el uso de estos paneles solares para reemplazar el combustible por la energía renovable, que si bien requiere una inversión inicial importante, se ve reflejada en el tiempo en el ahorro de los costos de combustible. En conclusión, este tipo de modificaciones a los vehículos de las dos investigaciones anteriores, aportan en varios sentidos como son en el cuidado del medio ambiente, en la economía, en el aprovechamiento de los recursos y del tiempo.

Finalmente, desde un contexto local se consultaron las tesis de Acosta y Muñoz (2012) “Construcción de un vehículo monoplace equipado con un motor mono cilíndrico” y de Espín (2012) “Construcción de un *buggy* con un motor de motocicleta de 200cc de 4 tiempos”. En la primera, los autores tuvieron como objetivo demostrar que un motor mono cilíndrico es más económico que uno de dos o tres cilindros. En esta clase de motores con un solo cilindro la inyección de gasolina es hacia un solo pistón, dando la ventaja de ser más económicos en combustible, y por otra parte más económicos en cuanto a repuestos y mantenimiento, por lo tanto, desarrollan más fuerza que velocidad.

Los *buggies* son vehículos de fácil diseño y construcción, funcionales, de bajo costo de mantenimiento, por lo cual se le implementó un motor de un solo pistón. Para desarrollar esta tesis se recurrió a investigar información acerca de los cálculos para diseñar un chasis tubular que tuviera una buena relación de peso-potencia, que asegurara una estructura resistente, ligera y económica. Modelar el diseño determinado en los programas de diseño y determinar el motor que vaya de acuerdo a este chasis.

Con este tipo de diseño y motor, se pudo fabricar un *buggy* de marca propia, que fuera de uso diario por ser funcional y económico, así ofrecer un vehículo que estuviera al alcance de todos. Finalmente, fue un modelo de *buggy* que en su diseño ayuda al medio ambiente por su baja emisión de contaminantes y asegura un ahorro del 50% en combustible. Esta tesis proporcionó información importante para complementar el desarrollo del diseño del *buggy* para transporte de panela, en cuanto al diseño y materiales.

Por otra parte, la tesis de Espín (2012) permitió evidenciar la construcción de un *buggy* para dos personas con motor de cuatro tiempos de moto de 200cc. Para desarrollar esta tesis se recopiló información acerca de la construcción y modificación de este tipo de vehículos, en cuanto a su estructura, piezas y autopartes. Se realizaron planos de la estructura tubular y de accesorios, se escogieron los materiales y las autopartes, como también de los equipos, además se implementó todo el sistema de pedales de acelerador y frenos. Por último, se llevó a cabo la construcción del *buggy* en un taller destinado para esto. Este tipo de vehículos tienen variedad de usos como deportivos, para el campo y para desplazamiento en uso militar. La información que aporta esta tesis es de gran relevancia en el momento de diseñar y construir un *buggy* para cualquier uso, ya que abarca desde el diseño, accesorios, piezas, autopartes, materiales y equipos. Este vehículo puede ser usado en todo tipo de terrenos teniendo un mejor desempeño en terrenos difíciles, lo que lo hace muy útil para el campo, carreteras y caminos escabrosos.

Con base en toda la investigación realizada, se puede concluir que los *buggies* son vehículos muy versátiles, a los cuales se les pueden realizar dentro de los parámetros

de la ingeniería modificaciones y adaptaciones de autopartes de cualquier otro vehículo, para desarrollar tareas en diferentes aspectos como en la tecnología, la ciencia, la salud, el medio ambiente, la ingeniería mecánica, la seguridad vial y en muchos otros aspectos, de tal manera aportando desarrollo y avance en general.

6. Marco referencial

6.1. Marco teórico

Los vehículos automotores constituyen uno de los más importantes inventos de ingeniería que el hombre a través de la historia haya desarrollado. Estos fueron creados para solucionar el transporte de materiales y personas de una manera más rápida y eficiente, desplazando así a los carruajes que se usaban los cuales eran tirados por animales que, si bien servían en el desplazamiento y carga, no eran lo suficientemente aptos, dado que los animales no podían proporcionar ni la fuerza ni la velocidad ni la resistencia que se requería para tales labores, de esta manera se crea el primer vehículo en Alemania.

Para el desarrollo del diseño de un vehículo que cubra las expectativas requeridas y las especificaciones técnicas, se deben tener en cuenta y analizar los diferentes conceptos y teorías de ingeniería que son decisivos para su correcto funcionamiento. Estos conceptos y teorías son: Fuerzas, momentos, rigidez a torsión, rigidez a flexión, esfuerzo y factor de seguridad.

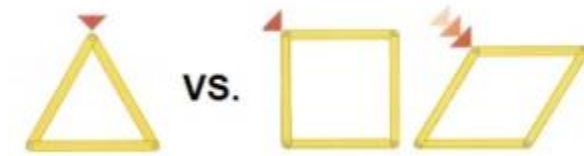
6.2. Marco conceptual

Para una mayor y mejor comprensión del desarrollo del diseño de este trabajo, es de gran aporte para el lector tener un conocimiento básico de conceptos que se usaran a lo largo de este, facilitando así que tenga un mejor manejo del tema. A continuación, se enuncian algunos de los conceptos:

6.2.1. El triángulo en la construcción

De las diferentes formas geométricas conocidas, el triángulo es el único capaz de no perder su forma al aplicársele un esfuerzo (Imagen 4), es por este motivo que su uso es muy frecuente en las estructuras de puentes, edificios, grúas, vigas, torres de señal, etc.

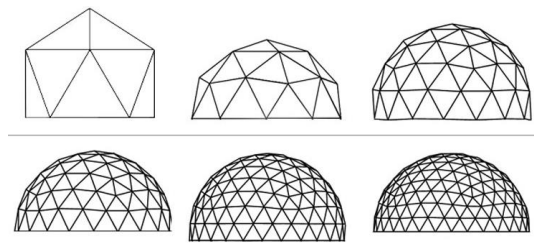
Imagen 4. Aplicación de fuerza en un triángulo contra un cuadrado



Fuente: Serycoin

Un diseño de estructura fuerte y resistente es el domo (Imagen 6), éste está construido con una serie de diferentes tipos de triángulos hasta llegar a la forma esférica del domo (Pfenniger, 2020).

Imagen 5. Generación de domos con triángulos



Fuente: Arquitectura en acero

6.2.2. Chasis

Es la estructura metálica que soporta los demás componentes de un vehículo, puede ser completa o tubular. Es el esqueleto del vehículo que tiene como función soportar el peso

y esfuerzo de las cargas que se ejercen en todos sus componentes mecánicos, como el sistema de suspensión, el motor, el sistema de dirección, el de frenos, entre otros. Además, proporciona protección al piloto y la carga (Diseño Automotriz UFT).

Según su forma de fabricación se clasifican en:

Chasis tubular de largueros

Su estructura está conformada por dos largueros paralelos que cubren toda la longitud del vehículo. Este tipo era el más usado en los vehículos antiguos y los más resistentes a cargas. Además, es muy resistente a impactos frontales.

Chasis tubular jaula

Esta estructura está diseñada en forma de cercha tridimensional, y junto con la base del chasis tubular de largueros que lo componen, se fabrica principalmente en tubería de perfil redondo, donde se incorporan todas las partes mecánicas. Por las conexiones y arcos que se crean en esta jaula, se provee protección al piloto y la carga, y aumenta la rigidez torsional. Por los costos y el tiempo de su fabricación, se utiliza sobre todo en vehículos experimentales y prototipos.

Chasis compacto

Está compuesto de piezas de láminas, plegadas, embutidas y soldadas, en donde se incorporan los demás componentes del vehículo. Este tipo de chasis es el más utilizado en la industria automotriz, ya que por su producción en serie no resulta costoso, ya que se pueden estandarizar sus procesos.

Chasis monocasco

Este tipo de chasis está fabricado de una sola pieza que cubre de techo a piso, con componentes estructurales que se refuerzan y complementan entre sí, dándole una forma tridimensional que a su vez va unida a la carrocería. Pueden ser fabricados en fibra de carbón, acero o aluminio (G.Artés, 2020). Es más costoso de fabricar, y su primer uso se dio en la Formula 1.

Chasis híbrido

Este resulta de la combinación de dos otros de los demás tipos de chasis, de tal forma se pueden encontrar cabinas en fibra de carbón, largueros de aluminio, cabinas monocasco con estructura tubular jaula, cualquier combinación es posible siempre y cuando sea resistente a los esfuerzos.

6.2.3. Carrocería

Carrocería, latonería o chapería, es la parte exterior metálica del vehículo que recubre el motor y otros elementos, cuyo interior es ocupado por los pasajeros y la carga.

La carrocería es la que determina la clase de vehículo y su estética. Estas además de ser cómodas y seguras, deben ser aerodinámicas, para garantizar mayor velocidad con menos potencia y consumo (Escuela Europea del Automovil, 2020).

Los conceptos antes mencionados son parte importante dentro de la estructura del vehículo tipo *buggy*, toda vez que aportan un método de diseño para determinar los requerimientos del cliente, la forma estructural que se usará en su diseño y construcción, el chasis a elegir y si es necesario, una carrocería adecuada.

7. Metodología

En el campo de la investigación existen tres clases de metodologías importantes con las cuales se puede desarrollar los diferentes temas para que estos tengan el éxito que se espera, estas son: metodología cualitativa, metodología cuantitativa y metodología mixta. La metodología cualitativa tiene que ver con proyectos de investigación que no pueden ser medibles y tienen que ver más con experiencias y percepciones humanas. La metodología cuantitativa se refiere precisamente a la forma en que se pueden obtener datos medibles. Sirven para medir encuestas, para realizar comparaciones entre dos o más variables, para análisis de modelos matemáticos, para plantear soluciones desde fórmulas matemáticas, es decir todo aquello que se pueda expresar con datos concretos. Finalmente, la metodología mixta que involucra o mezcla los dos conceptos de metodología antes mencionados (ENAGO ACADEMY).

Para el presente ejercicio la metodología a usar será la cuantitativa, toda vez que los métodos utilizados para desarrollarla involucran la interpretación de datos y fórmulas que se expresan en medidas matemáticas.

Existen diferentes conceptos teóricos que se pueden tener en cuenta para realizar este diseño, entre los cuales se encuentran: fuerzas, momentos, rigidez a torsión, rigidez a flexión, esfuerzos y factor de seguridad, los cuales serán analizados en este diseño. Sus correspondientes resultados son obtenidos por fórmulas matemáticas que se pueden desarrollar manualmente, pero que el programa CAD utilizado para el diseño y simulación de éste, arroja dichos resultados al aplicar la correspondiente opción. Por ello, no se procederá al desarrollo manual de las fórmulas antes mencionadas.

A través de estos métodos de ingeniería es posible determinar que los materiales y diseños, cumplan con los parámetros para soportar determinada cantidad de carga muerta, cargas de servicio, lo que produce a largo plazo grietas y esto al fallo de la estructura diseñada, así mismo que tan resistentes son a la torsión y a la flexión, como se comportan al ejercerle fuerza en determinados momentos, que esfuerzo es capaz de soportar al ejercer las fuerza interna del material frente a una externa, y poder determinar el factor de seguridad.

Los principios del diseño estructural contemplan seguridad, funcionalidad y economía, donde la seguridad se determina por la resistencia de los materiales a la ruptura y de las uniones entre estos, la funcionalidad al uso diario y adecuado de la estructura determinada para la función específica y la economía a la creatividad del ingeniero para hacer un excelente aprovechamiento de los recursos existentes (EcuRed, n.d.).

El QFD arroja la información con la cual se permite concluir de una manera practica cuál de los bocetos realizados cubre con los requerimientos del cliente.

El triángulo es la figura geométrica capaz de resistir gran cantidad de carga, por lo cual es el más usado en los diseños de vehículos, puentes, edificios, construcciones, en general, en la mayoría de proyectos que requieren ser sometidos a cargas y esfuerzos. Para este diseño, se tuvo en cuenta la estructuración con triángulos de diferentes dimensiones que finalmente darán forma al *buggy* para el transporte de panela.

Para desarrollar este proyecto se realizó la siguiente ruta metodológica (tabla 1) donde se relacionan los objetivos específicos con sus correspondientes actividades, recursos y resultados ejecutados en cada uno de ellos, planteando la trayectoria para llegar a la solución del proyecto.

Tabla 2. Ruta Metodológica

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDAD	RECURSOS	RESULTADO
Identificar las especificaciones de ingeniería del chasis de vehículo tipo <i>buggy</i> para el transporte de panela.	<p>Conocimiento previo del problema en la finca Santa Bárbara</p> <hr/> <p>Visita física a la finca, caminos y trapiche</p> <hr/> <p>Inspección de partes automotrices de Renault 4</p>	<p>Conversaciones con el señor Bertulfo</p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento en vehículo particular • Formulación de preguntas • Llamadas telefónicas. • Cámara fotográfica <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Clasificación física de las partes automotrices 	<p>Teniendo en cuenta que el terreno es rocoso e inclinado, es necesario diseñar un chasis tipo <i>buggy</i> para el transporte de panela, que sea elaborado con materiales resistentes, con autopartes de Renault 4 que posee el señor Bertulfo, además que sea económico tanto en combustible como en mantenimiento, que preste los servicios que el señor requiere.</p>
Evaluar los diseños conceptuales del chasis de vehículo tipo <i>buggy</i> para el transporte de panela resultantes a partir de la matriz QFD.	<p>Investigación de planteamiento de QFD</p> <hr/> <p>Condensar información recopilada</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de páginas de internet • Uso de computador <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Uso de computador 	<p>Selección del diseño óptimo que cumpla los requerimientos del QFD para satisfacción del cliente y cumplimiento de los requerimientos de diseño</p>

	Desarrollo de la información mediante la matriz QFD	<ul style="list-style-type: none"> • Boceto de QFD • Revisión de parámetros de información requerida 	
	Realizar bocetos a mano alzada de chasis tipo <i>buggy</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Hojas en blanco • Lápiz • Borrador • Tajalápiz 	
	Comparación de bocetos contra el QFD	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección de ítems 	
Elaborar la ingeniería de detalle del diseño del chasis de vehículo tipo <i>buggy</i> propuesto por medio de un software CAD/CAE.	Conocimientos generales del uso del software Inventor Professional 2020	<ul style="list-style-type: none"> • Aprendizaje recibido en clases por medio de la Universidad Santo Tomas • Autodidacta 	Elaboración del diseño seleccionado en el software Inventor Professional 2020
	Instalación del programa CAD	<ul style="list-style-type: none"> • Licencia estudiantil por medio de la universidad 	
	Implementación del diseño de mano alzada a software CAD	<ul style="list-style-type: none"> • Computador • Diseño a mano alzada 	

Fuente: Autor

8. Resultados

8.1. Diseño de la estructura

Para el diseño de un chasis tubular de jaula, se deben tener en cuenta diferentes aspectos como la rigidez, la estabilidad, el dinamismo, además que soporte diferentes tipos de esfuerzos como la torsión y flexión, teniendo en cuenta también los sistemas mecánicos que lo conformaran para cumplir con su funcionamiento.

Teniendo presente que el chasis contiene dentro de sí tanto al piloto como la carga a transportar, es importante seleccionar el material que cumpla con los parámetros para tal fin, toda vez que si la tubería utilizada es demasiado débil, en el momento de un choque no se mantendrá intacto y no protegerá al piloto sino que por el contrario puede resultar herido, y por otra parte, si la tubería es demasiado rígida, el habitáculo que contiene al piloto se conservará intacta pero éste se verá sometido a fuerzas de inercia muy altas las cuales le harán chocar contra el interior del vehículo de forma abrupta, lo que también le causaran daño.

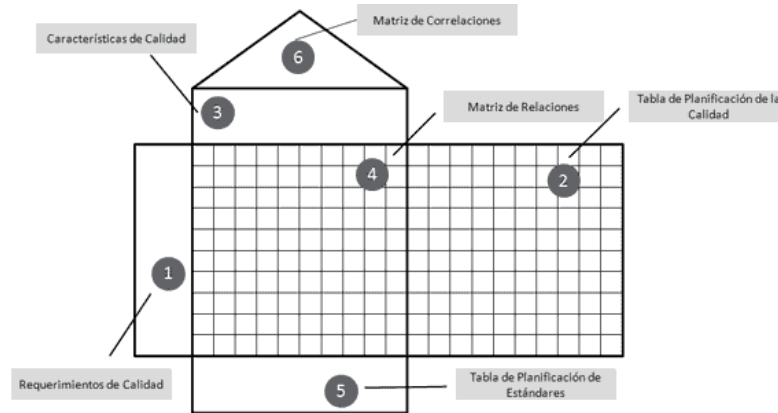
El *buggy* es diseñado para ser construido en tubería de acero que es resistente y de buena calidad, ya que este tipo de vehículos son utilizados sobre todo en terrenos difíciles de transitar y no superan una velocidad de 30 Km/h, lo que lo hace poco expuesto a condiciones de choque que puedan deformar la estructura y/o causar daño tanto al piloto como a la carga (Guacapiña, 2012).

8.2. QFD

Quality Function Deployment (Despliegue de la función de calidad) (Imagen 4), creado en 1966 por Yoji Akao, quien buscaba además de la fabricación, que el diseño asegurara

la calidad del producto o servicio solicitado por el cliente, es decir un método de diseño empleado para encontrar un punto de equilibrio entre satisfacer las necesidades del cliente contra el diseño propuesto más cercano a su necesidad (Consultores desarrollo y gestion, 2019).

Imagen 6. Diagrama QFD



Fuente: Aiteco

Para realizar el QFD (véase anexo 1) como primer paso se tuvo en cuenta las especificaciones de diseño que el cliente requería considerando las opciones de cumplimiento que el diseño propuesto daba como resultado, ante estos datos se genera una correlación donde se determina qué características del diseño se relacionan entre sí, en el siguiente paso se generó la matriz de relación donde se clasifican tres ítems de la siguiente manera: alto, medio y bajo pertinente a la relación entre los requerimientos del cliente y las opciones de cumplimiento del diseño, de acuerdo a los datos obtenidos en la evaluación de importancia se determina el mejor boceto de diseño basándose en los datos obtenidos en importancia absoluta y relativa, como último paso se hace la

comparativa entre el diseño propuesto contra las opciones encontradas en el mercado como lo son el CAN-AM DEFENDER y el KARGUERO 3W200.

8.3. Bocetos

QFD Boceto 1

En la opción número 1 se expone un chasis tipo tubular que tiene una distribución de material excesivo en la parte del frente, por lo tanto, hace que sea más pesado, donde se debe encontrar un equilibrio peso - potencia para el diseño acoplado con el motor a usar, el diseño no es bastante rígido para el terreno. Puntuación de evaluación de importancia 84/960 en absoluta y 14%/165% relativa.

Ilustración 1. Boceto idea 1

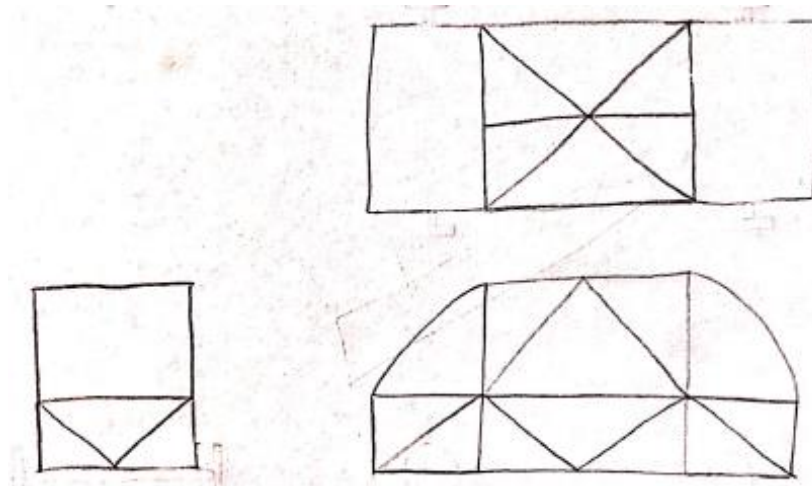
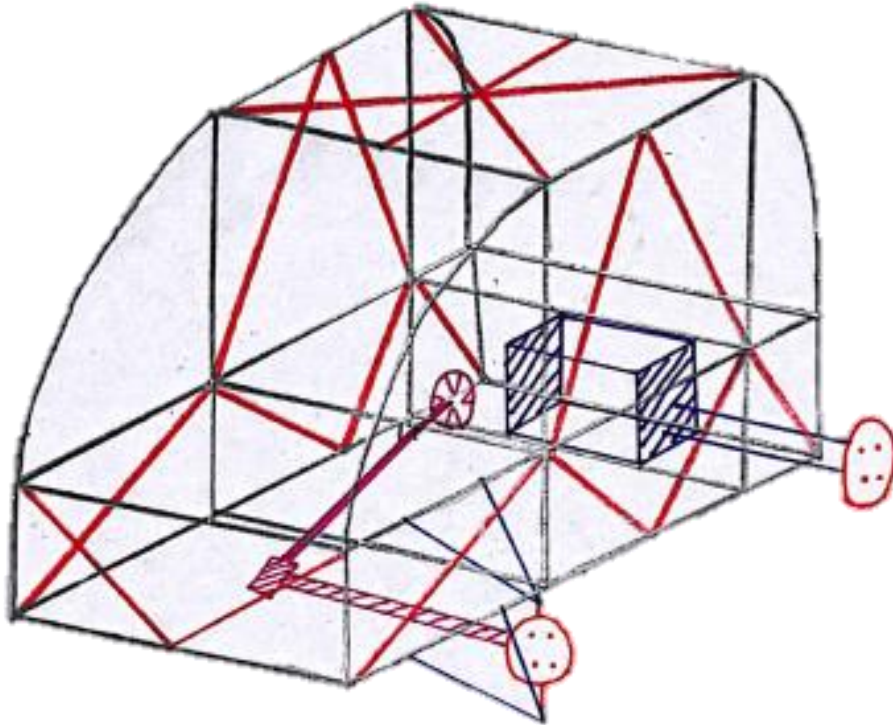


Ilustración 2. Isométrico boceto 1



QFD Boceto 2

Para la opción 2 se muestra un chasis tipo tubular el cual tiene una disposición independiente para la amortiguación delantera genera más espacio para que la suspensión fluctúe de mejor forma, se encuentra un diseño estructurado en triángulos en la mayoría de los segmentos que lo componen, los refuerzos generan un peso adicional, pero dan mayor resistencia al diseño. Puntuación de evaluación de importancia 107/960 en absoluta y 18%/165% relativa

Ilustración 3. Boceto idea 2

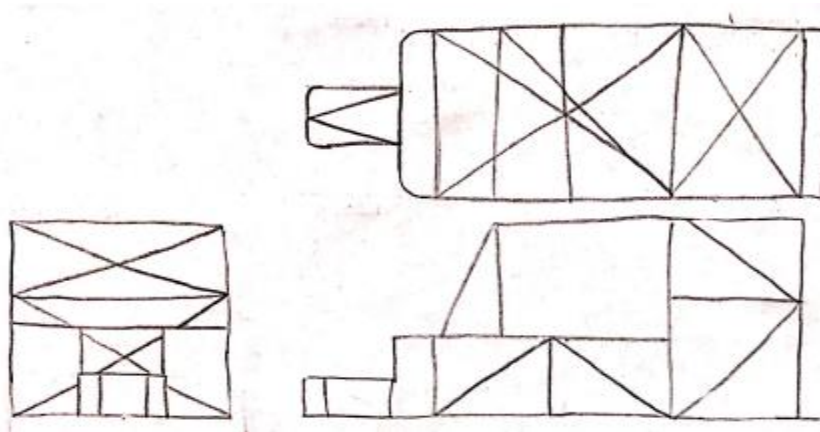
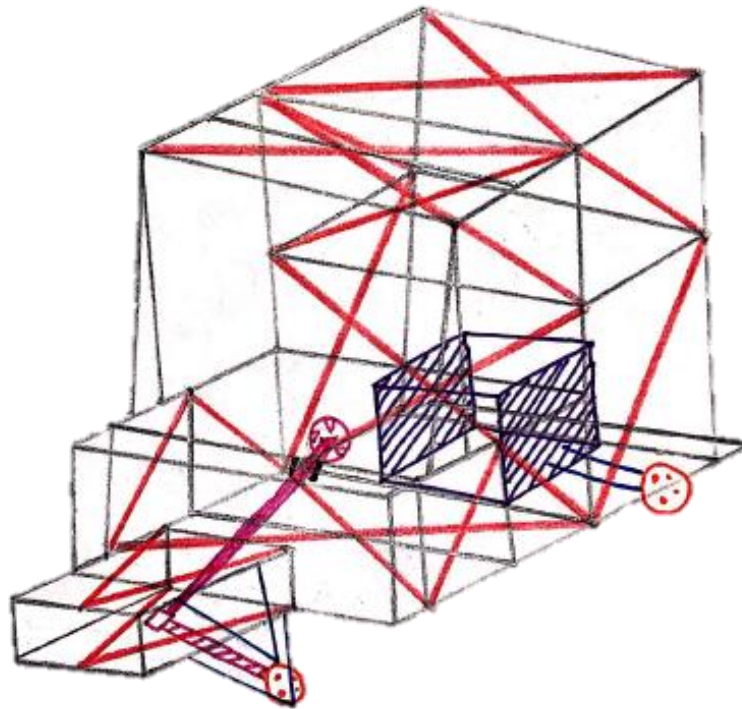


Ilustración 4. Isométrico boceto 2



QFD Boceto 3

En la opción 3, se da un espacio pertinente para la suspensión trasera que iría anclada con la parte delantera por medio de unas bisagras que permiten que se flecten las dos partes, como la carga y el sistema de transmisión están en la parte trasera, por medio de este sistema pueden generarse fallas en el diseño por no llegar a ser suficientemente solido el mismo, poniendo en riesgo al piloto y a la carga. Puntuación de evaluación de importancia 58/960 en absoluta y 10%/165% relativa

Ilustración 5. Boceto idea 3

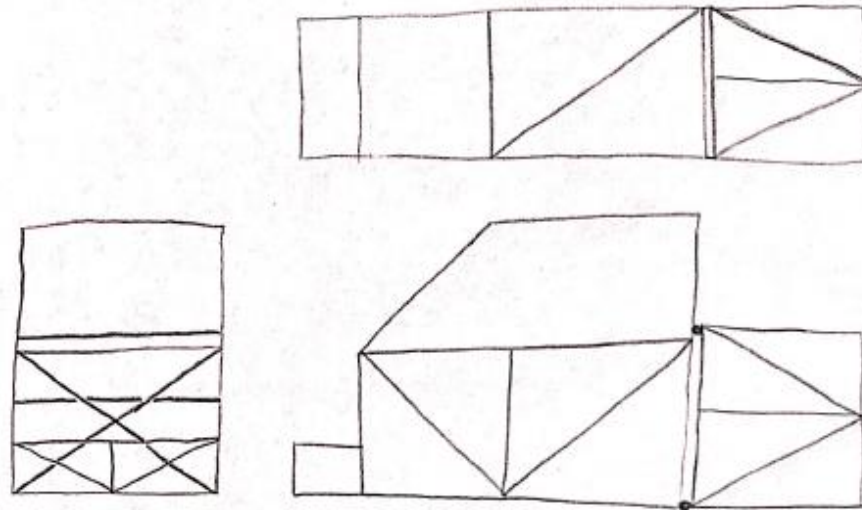
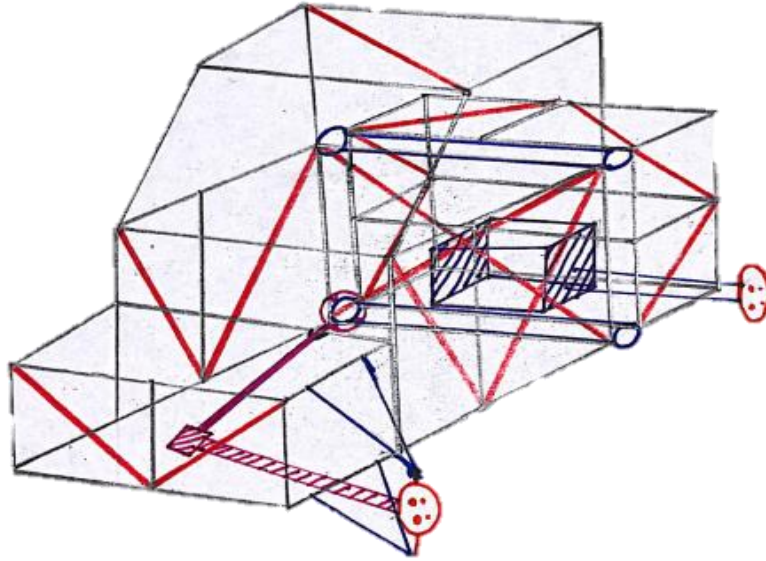


Ilustración 6. Isométrico boceto 3



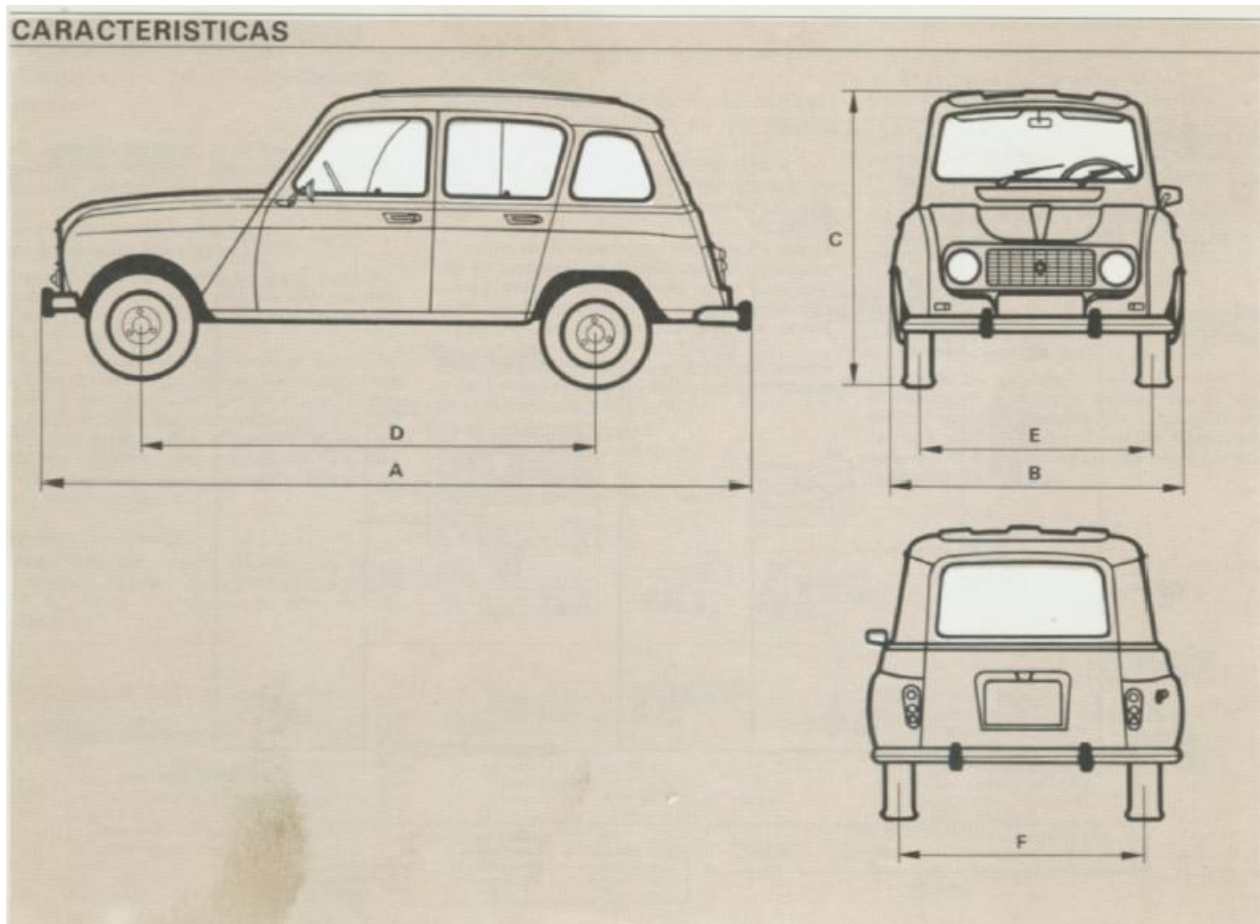
8.4. Requisitos técnicos del diseño

8.4.1. Datos preliminares

Para el desarrollo de este diseño se va a tener en cuenta las especificaciones técnicas del manual del Renault 4, en cuanto a sus dimensiones del chasis como de las medidas de las distancias entre ejes, el punto de ensamble tanto de la suspensión delantera y la tracción trasera. Esto en consecuencia de las exigencias del cliente al poseer diferentes partes mecánicas de un Renault 4.

A continuación, se presenta las correspondientes medidas del Renault 4:

Ilustración 7. Caracterización de Renault 4



Fuente: www.manualesdemecanica.com

Ilustración 8. Especificación de medidas

				CARACTERISTICAS	
Características generales					
		R-1125 TL	R-1125		
Longitud exterior total	A	3,669 m.	3,669 m.		
Anchura exterior total	B	1,485 m.	1,485 m.		
Altura total en vacío	C	1,550 m.	1,550 m.	Dirección	De cremallera
<hr/>					
Distancia entre ejes:				Diámetro de giro:	
Lado izquierdo	D	2,401 m.	2,401 m.	Entre aceras	9,70 m.
Lado derecho	D	2,449 m.	2,449 m.	Entre paredes	10,10 m.
<hr/>					
Via delantera	E	1,279 m.	1,279 m.	Abertura de las ruedas delanteras	0 a 4 mm.
Via trasera	F	1,244 m.	1,244 m.	(Altura debajo del larguero, 90 mm. inferior a la del eje de rueda).	
<hr/>					
Tara		700 Kg.	680 Kg.	Suspensión	Ruedas independientes, barras de torsión, amortiguadores hidráulicos, barras antibalceo.
Peso máximo autorizado		1.090 Kg.	1.070 Kg.	<hr/>	
<hr/>					
Peso máximo remolcable:				Embrague: Juego de la palanca soporte de tope	3,5 a 4,5 mm.
Remolque sin freno		330 Kg.	330 Kg.	<hr/>	
Remolque con freno de inercia		555 Kg.	555 Kg.	Frenos: de pie	Hidráulicos en las cuatro ruedas con repartidor de frenada. Frenos de tambor. Mecánico en las ruedas delanteras.
<hr/>					
				de mano	

39

Fuente: www.manualesdemecanica.com

8.5. Chasis elegido

Para implementar el modelado del chasis, se realizó la evaluación mediante el punto anterior por medio de QFD, donde la idea número 2 fue la seleccionada puesto que cumplía mayor porcentaje de aprobación por el mismo.

De esta forma se empezó a desarrollar el diseño a detalle de la idea número 2 en el software Autodesk Inventor Professional 2020, en que se tiene en cuenta las medidas

entre ejes del Renault 4, para que de esta forma pueda ser adaptada la dirección y el tren trasero del vehículo mencionado anteriormente.

Se decide dejar una especificación por colores donde:

- Zona morada: Suspensión delantera
- Zona roja: Modulo para el piloto
- Zona negra: Espacio para la carga de panela
- Zona dorada: Espacio para el motor y transmisión

En la primera etapa de diseño, la idea del chasis elegido se construyó en el software, aplicando las diferentes fuerzas, para obtener los resultados de desplazamiento, esfuerzo máximo, coeficiente de seguridad entre otros. El resultado arrojó un desplazamiento de 15 mm en la parte de la estructura donde se aplicó la carga de 200 kilos (1962 Nm), correspondiente al peso de la panela a transportar, ocasionando la falla del material a causa del esfuerzo de fluencia, toda vez que las propiedades del material denotan 250Mpa y el diseño se encuentra por encima de este valor, con un esfuerzo de fluencia de 351.6 MPa.

Ilustración 9. Chasis en primera etapa de diseño

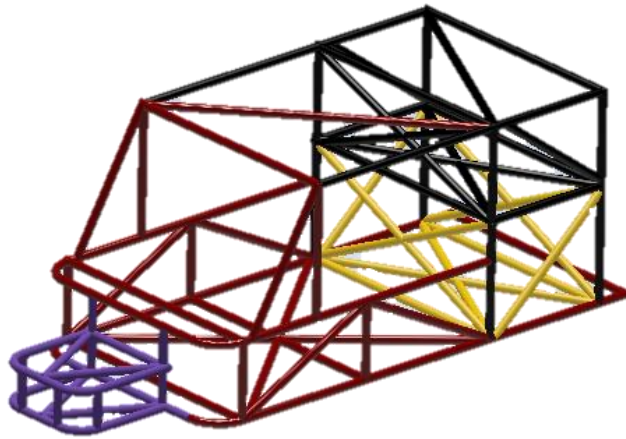
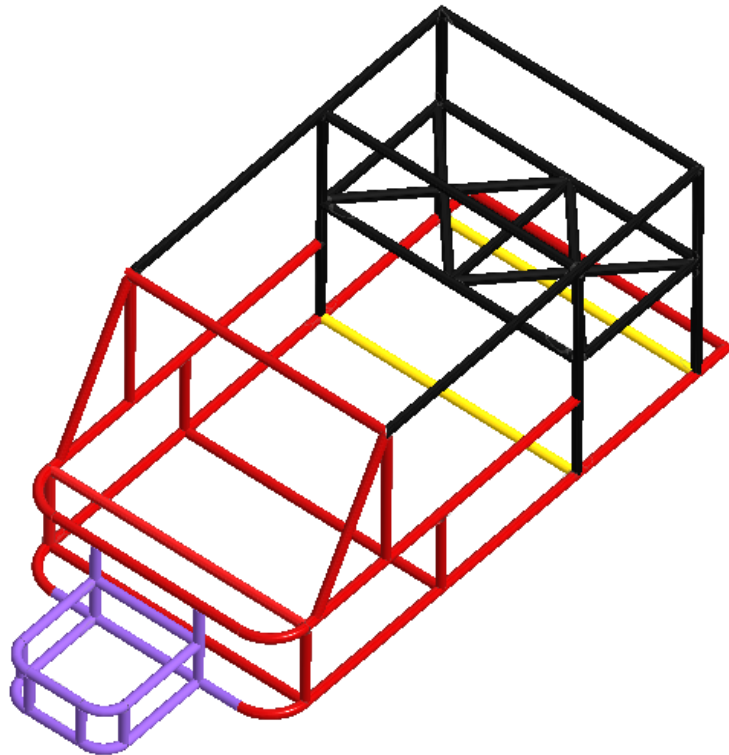


Ilustración 10. Chasis en etapa definitiva



Se realizó la modificación a la estructura en la zona de carga, dividiendo homogéneamente el espacio para distribuir de mejor manera el peso, evitando de tal forma que se presente un desplazamiento fuera de parámetros, como se puede evidenciar en la (figura tal) con los resultados de la simulación se complementa esta decisión.

Ilustración 11. Chasis en vista isométrica sin refuerzos

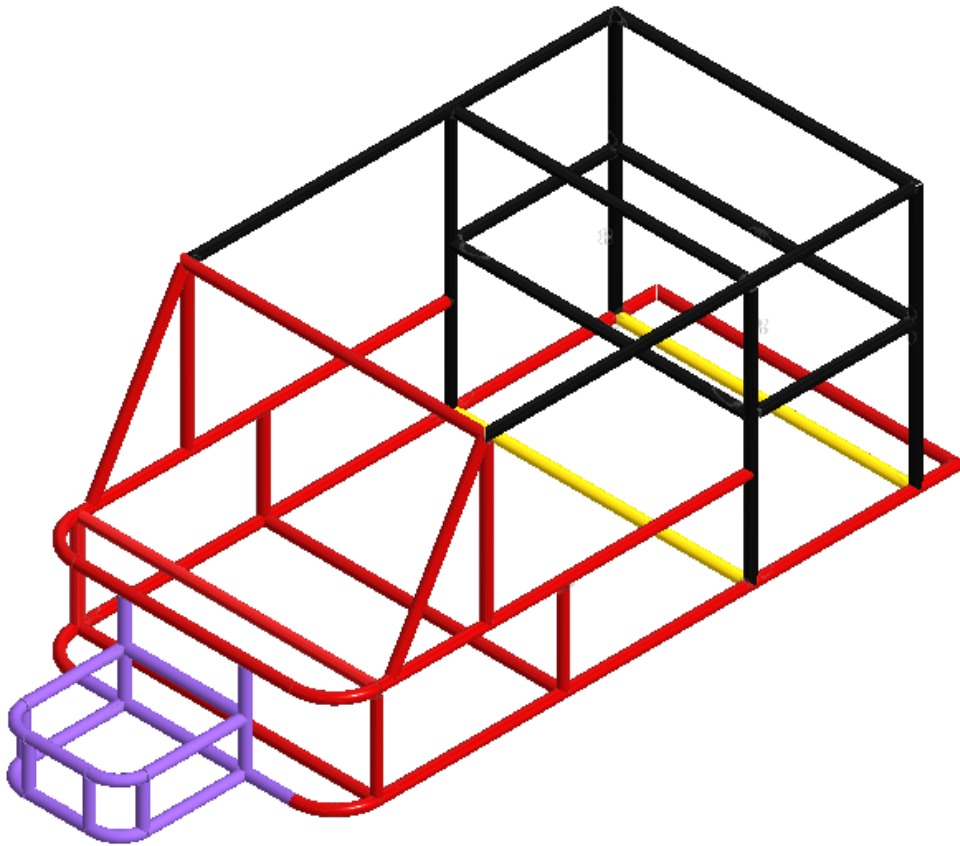


Ilustración 12. Chasis en vista lateral

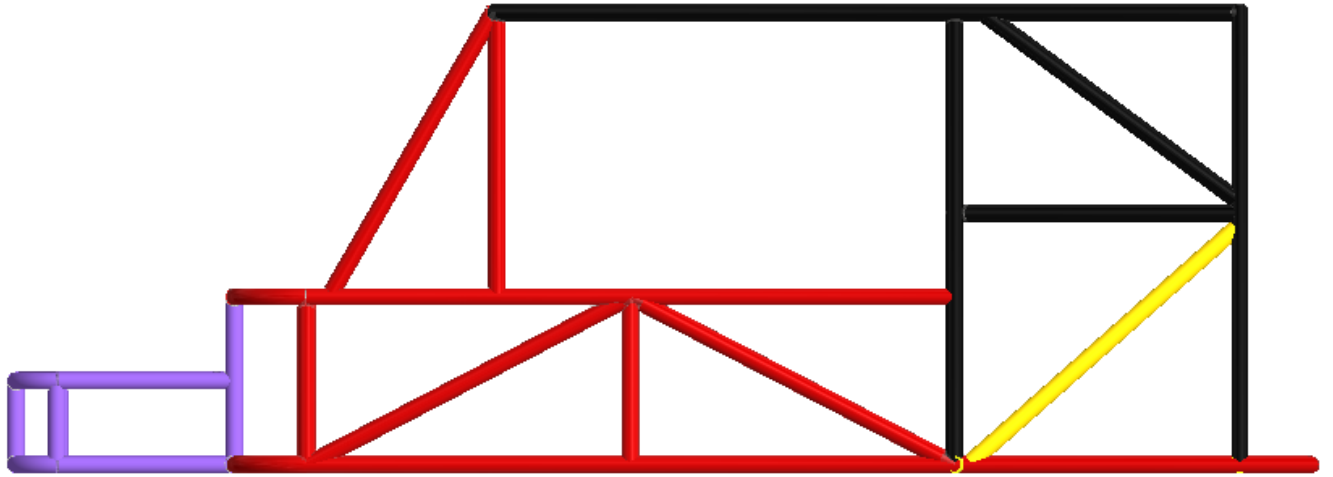


Ilustración 13. Chasis en vista frontal

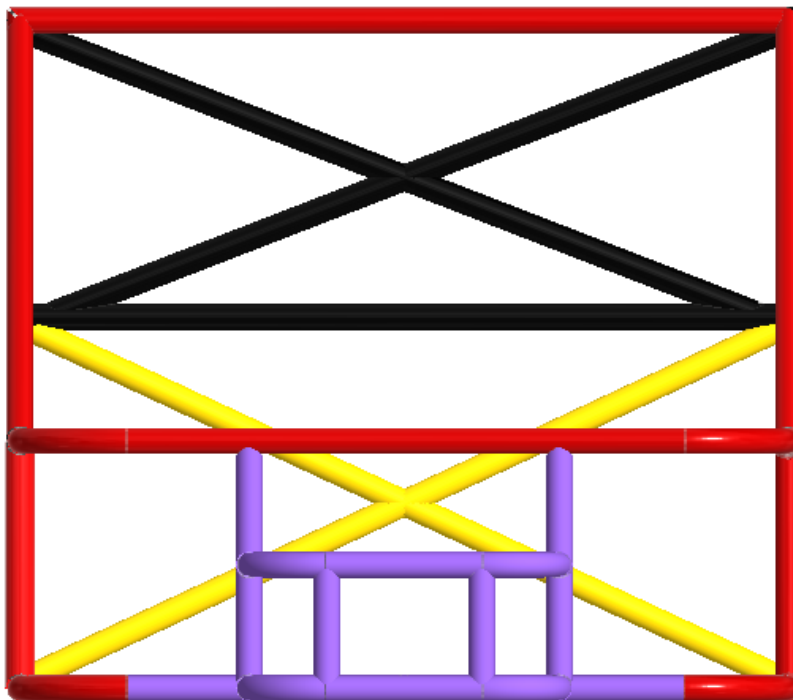


Ilustración 14. Chasis en vista superior

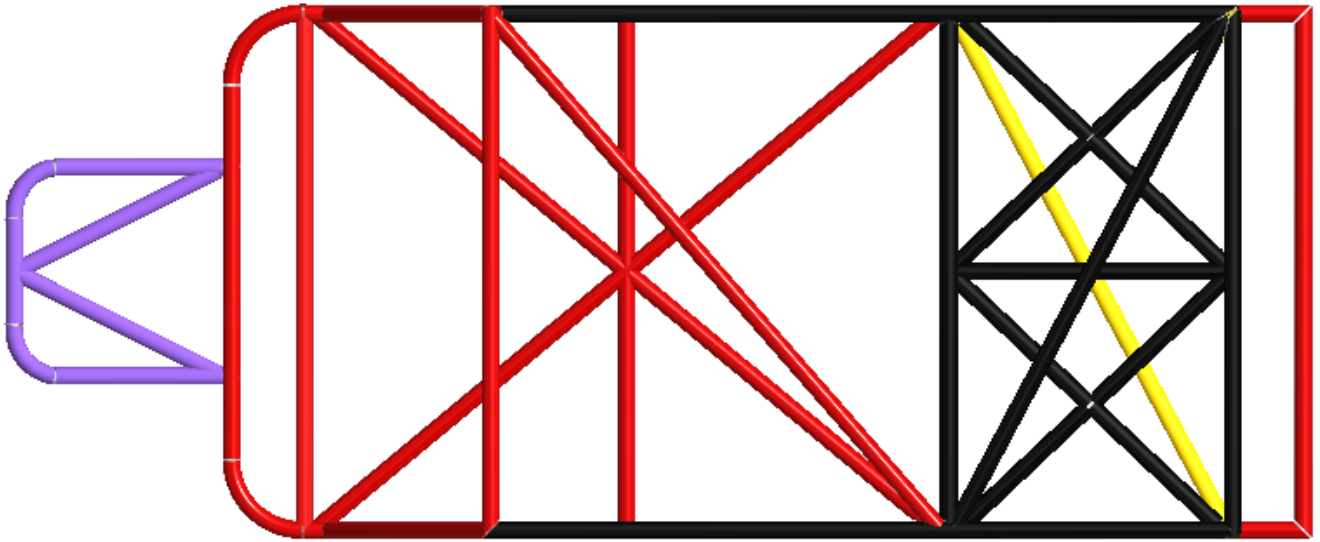


Ilustración 15. Mallado de estructura 1

Nodos:692628
Elementos:334138

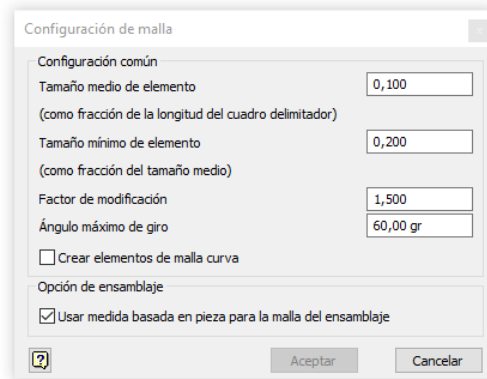
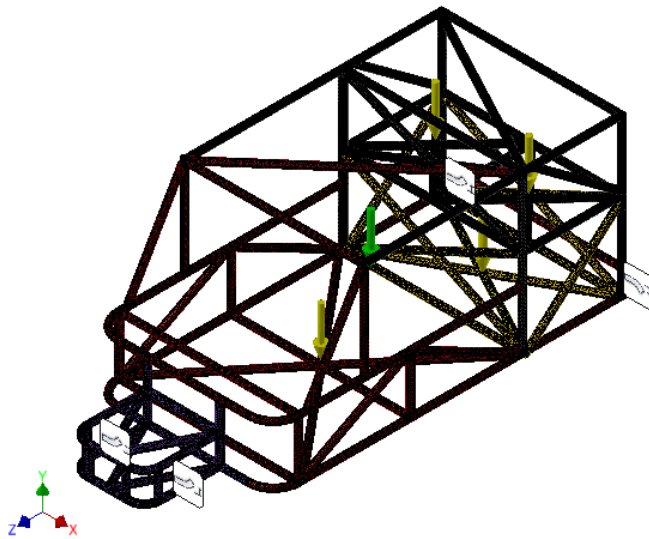
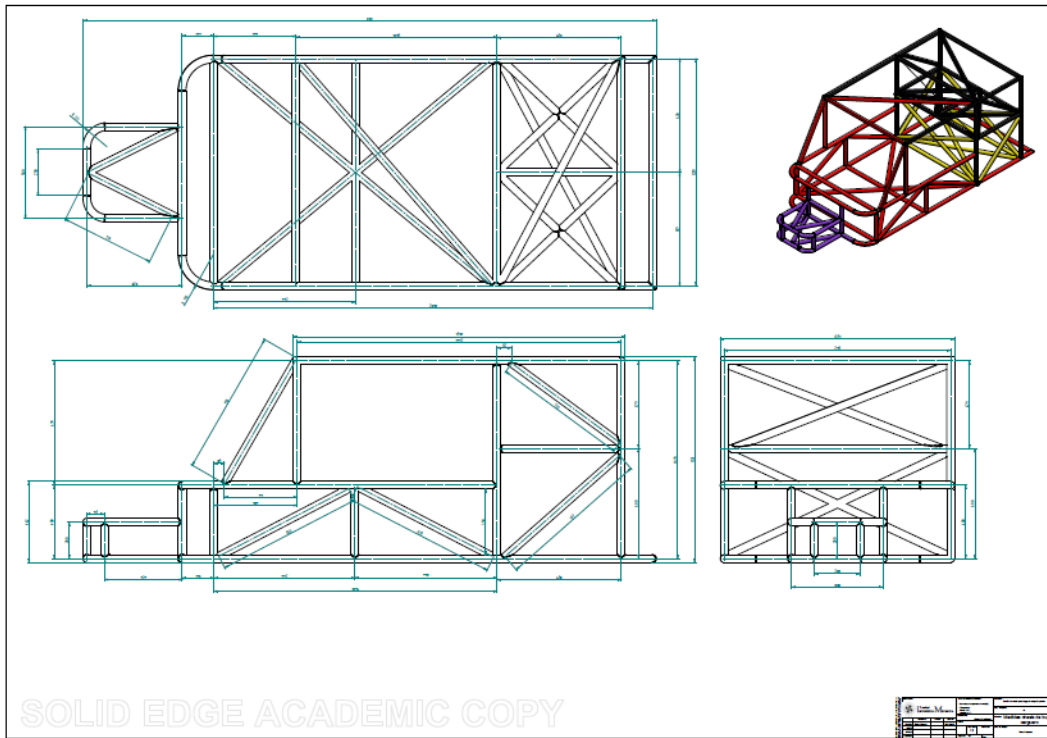
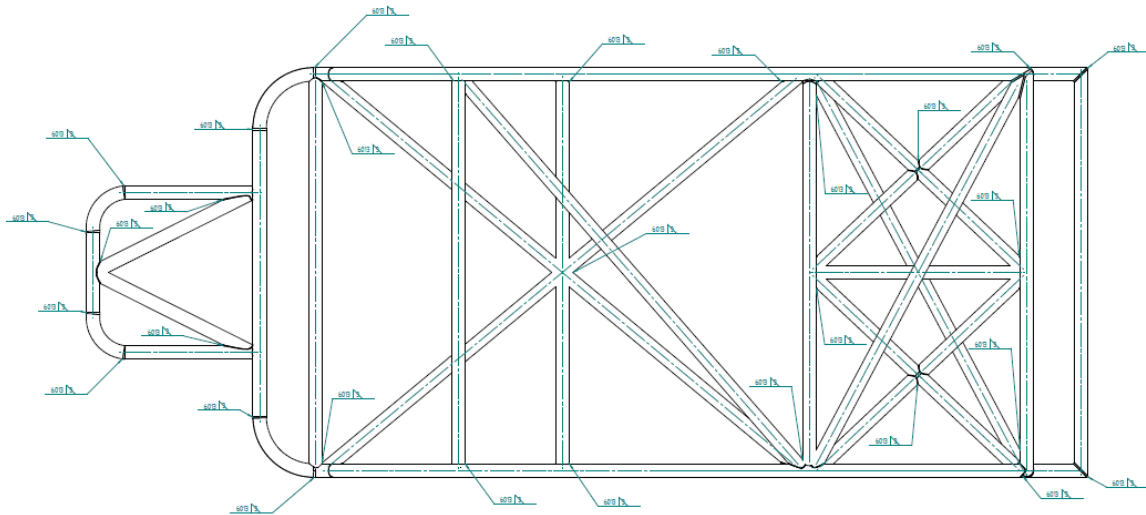


Ilustración 16. Plano de estructura.



Plano de soldadura general (Véase anexo 2)



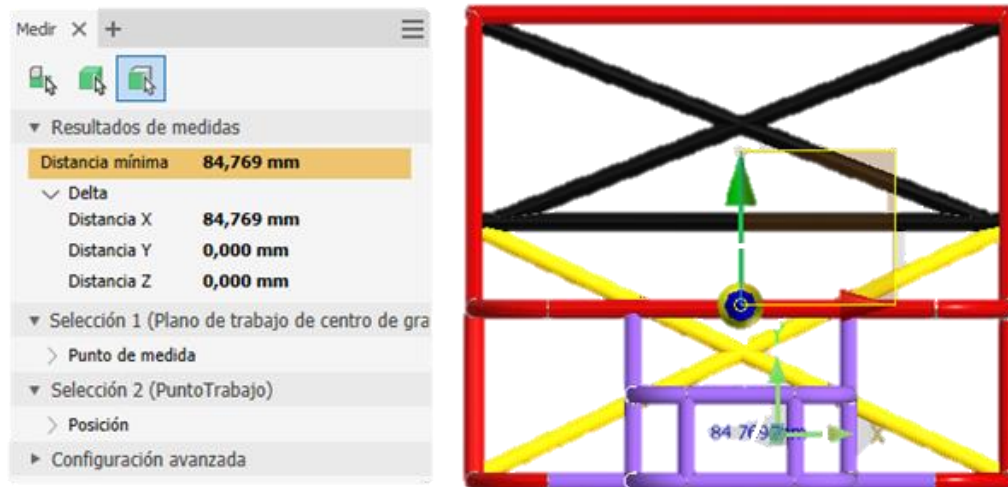
Fragmento tomado de plano de soldadura (Véase anexo 3)

8.6. Cálculos

8.6.1. Ubicación del centro de gravedad

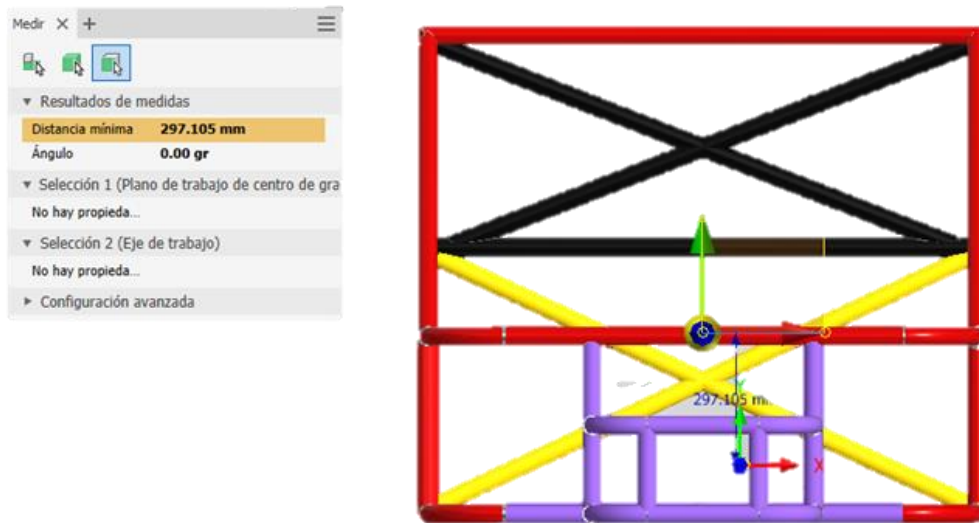
Se requiere establecer el centro de gravedad del diseño para poder obtener los cálculos correspondientes. En este caso, el software arroja la ubicación precisa de éste. Aun así, es necesario determinar la ubicación de los ejes de diseño para obtener las distancias entre estos y el centro de gravedad. En el eje X se encuentra una distancia entre el eje de diseño y el centro de gravedad de 84.769 mm.

Ilustración 17. Distancia entre el eje X de centro de gravedad Vs el eje X de dise



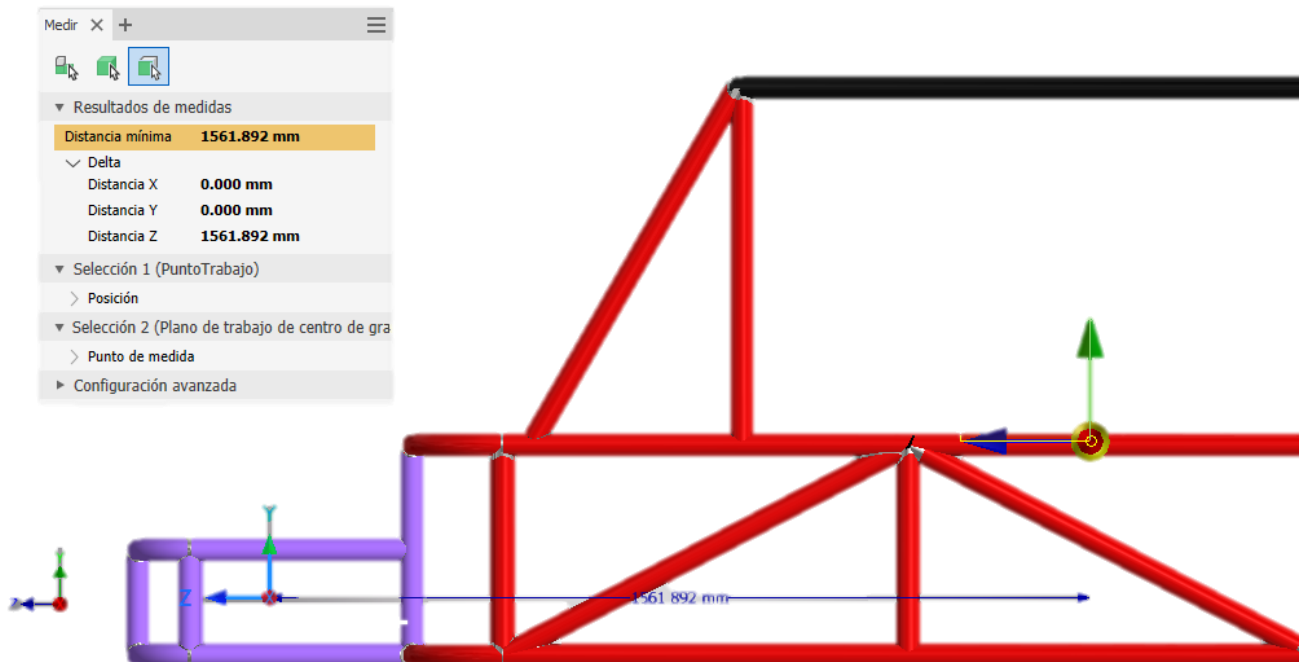
En el eje Y podemos evidenciar una distancia de 297.105 mm entre el eje de diseño y el centro de gravedad

Ilustración 18. Distancia entre el eje Y de centro de gravedad Vs el eje Y de diseño



En el eje Z se aprecia una distancia de 1561.832 mm entre el eje de diseño y el centro de gravedad

Ilustración 19. Distancia entre el eje Z de centro de gravedad Vs el eje Z de diseño



Para establecer las cargas se tuvo en cuenta los siguientes parámetros:

- Peso de la carga: 200 kg
- Peso motor y accesorios: 40 kg
- Peso conductor: 70 kg
- Peso suspensión delantera: 20 kg

Para que estos pesos sean convertidos en carga, se deben multiplicar por la gravedad, obteniendo así unidades de fuerza, de la misma forma es importante tener en cuenta la gravedad que actúa sobre el chasis en general.

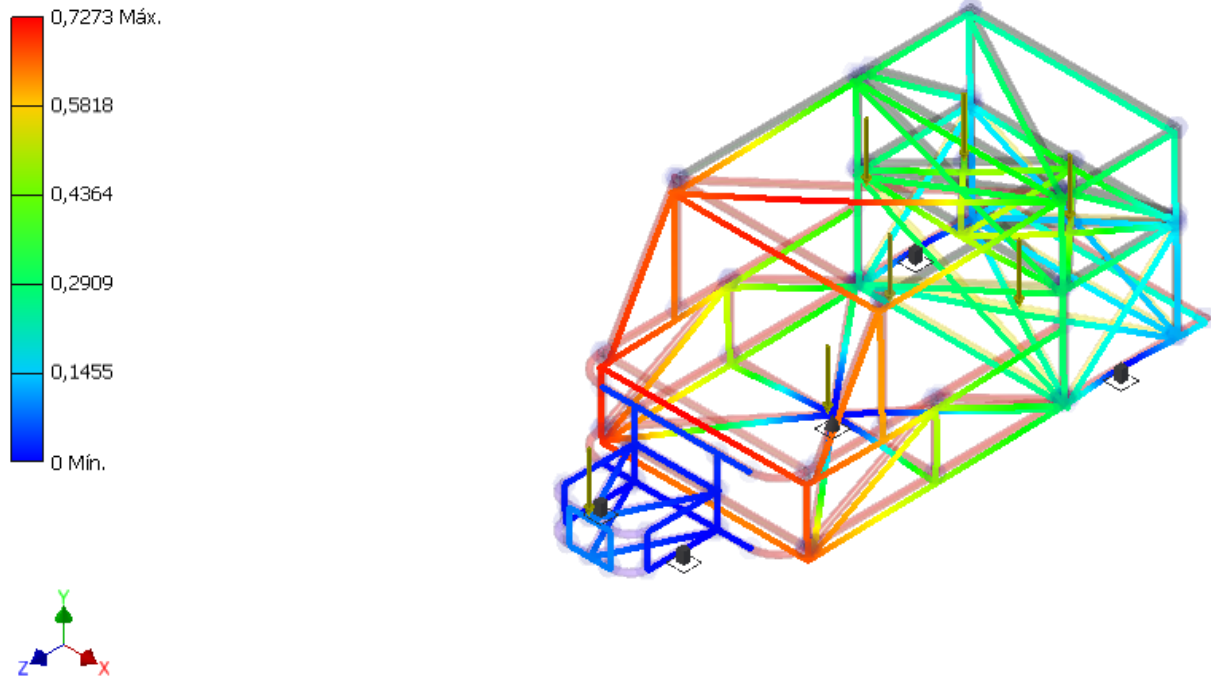
Para la obtención de datos se tendrá en cuenta el uso de dos materiales, los cuales son acero al carbón y aluminio 6061, con los resultados que arroje el programa se procede a hacer la selección del material más pertinente para el diseño propuesto.

8.6.2. Desplazamiento en acero al carbón

El desplazamiento es uno de los factores más importantes a tener en cuenta en el diseño, toda vez que va de la mano con la deformación que se puede presentar en la misma. En este caso un desplazamiento de 0.7273 mm en la parte frontal, es un valor aceptable, pues no es un valor excesivo, además que todas las estructuras tienen un desplazamiento normal en el momento de aplicarse una carga.

Ilustración 20. Desplazamiento en acero al carbón

Tipo: Desplazamiento
Unidades: mm
24/03/2022, 3:50:18 p. m.

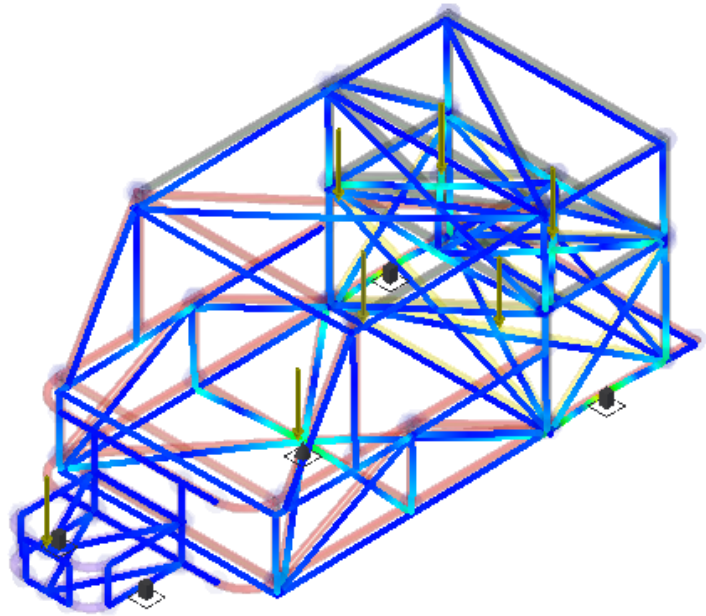
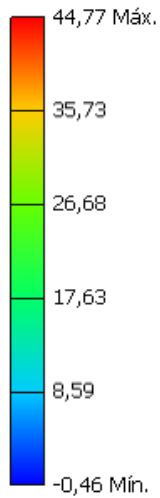


8.6.3. Esfuerzo máximo acero al carbón

El esfuerzo máximo al cual estará sometida la estructura es de 44.77 MPa, está por debajo del esfuerzo de fluencia del acero al carbón el cual es de 250 MPa, arrojando como resultado que la selección del material en el diseño es el adecuado.

Ilustración 21. Tensión acero al carbón

Tipo: Tensión normal Smax
Unidades: MPa
24/03/2022, 3:52:32 p. m.



8.6.4. Coeficiente de seguridad acero al carbón

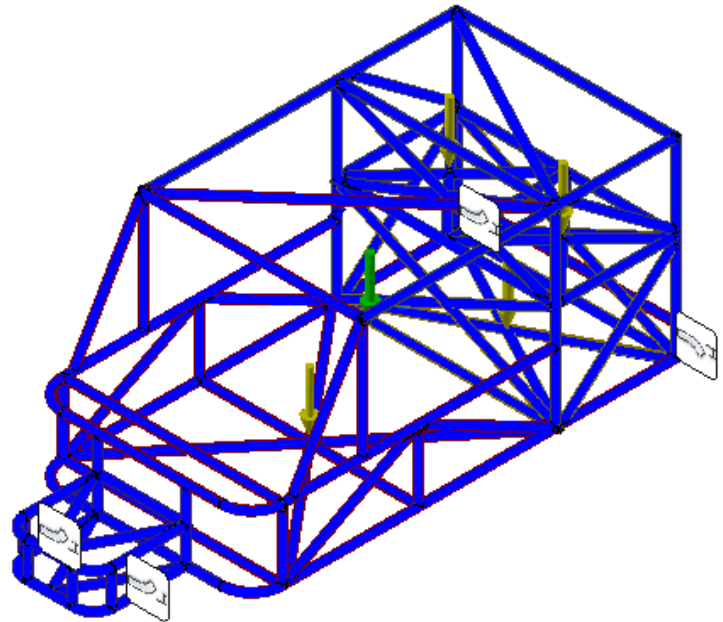
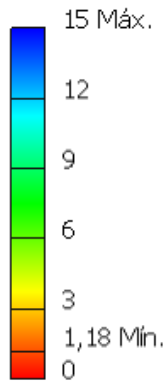
El coeficiente de seguridad es un valor importante en el diseño, el índice que arroja permite determinar la resistencia mecánica mostrando el margen de error que debe ser mayor de 1 para que no falle y si es más alto más resistencia posee. En este caso nos da un coeficiente de seguridad de 15, el cual es alto y optimo ya que este diseño estará sometido al transporte de carga por lugares de difícil tránsito, por lo cual se concluye que este diseño es apto.

Ilustración 22. Coeficiente de seguridad acero al carbón

Tipo: Coeficiente de seguridad

Unidad: ul

24/03/2022, 4:14:47 p. m.

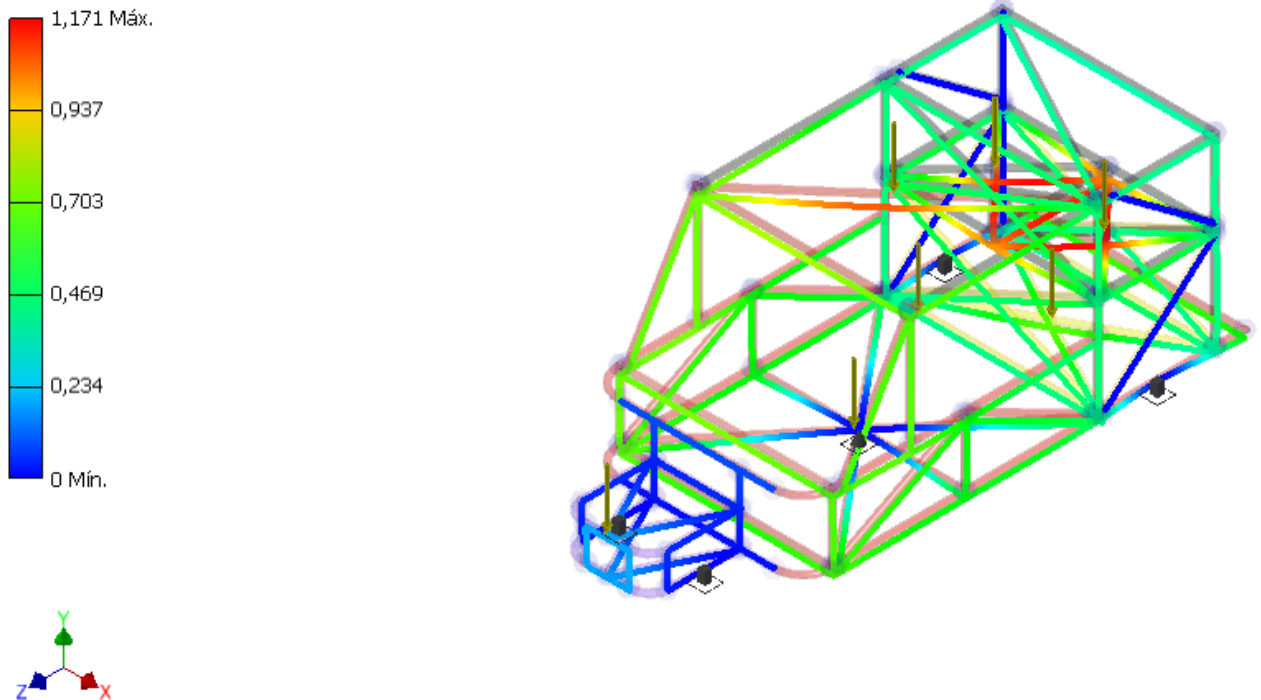


8.6.5. Desplazamiento en aluminio 6061

En este caso se presenta un desplazamiento de 1.171 mm en la zona de la carga, es un valor no aceptable, pues es un valor excesivo, a pesar de que todas las estructuras tienen un desplazamiento normal en el momento de aplicarse una carga, el aluminio 6061 excede los parámetros.

Ilustración 23. Desplazamiento en aluminio 6061

Tipo: Desplazamiento
Unidades: mm
24/03/2022, 3:54:35 p. m.

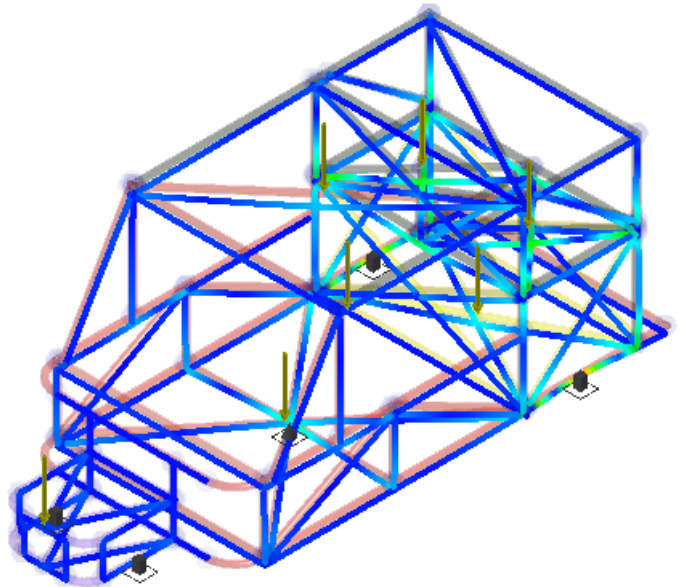
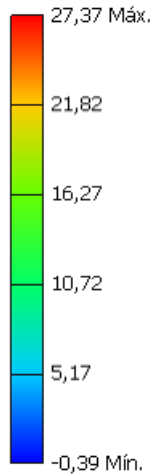


8.6.6. Esfuerzo máximo en aluminio 6061

El esfuerzo máximo al cual estará sometida la estructura es de 27,37 MPa, está por debajo del esfuerzo de fluencia del aluminio el cual es de 145 MPa, arrojando como resultado que la selección del material en el diseño es adecuado, pero superado por el acero al carbón.

Ilustración 24. Tensión en aluminio 6061

Tipo: Tensión normal Smax
Unidades: MPa
24/03/2022, 3:55:23 p. m.

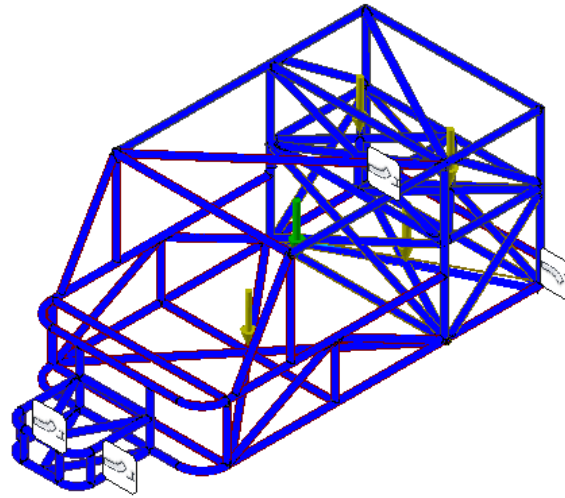
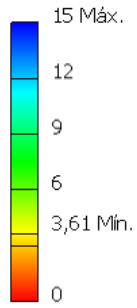


8.6.7. Coeficiente de seguridad en aluminio 6061

En este caso nos da un coeficiente de seguridad de 15, el cual es alto y optimo ya que este diseño estará sometido al transporte por lugares de difícil tránsito, por lo cual se puede concluir que este material sería aceptable para el diseño, pero por sus características no soporta grandes cargas de peso por lo cual tiende a fallar.

Ilustración 25. Coeficiente de seguridad en aluminio 6061

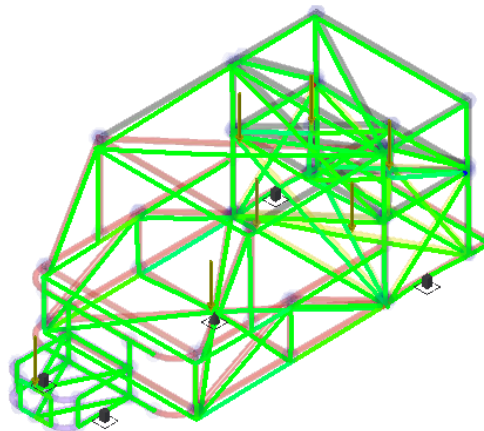
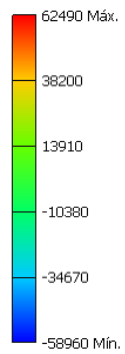
Tipo: Coeficiente de seguridad
Unidad: ul
24/03/2022, 4:08:26 p. m.



8.7. Momento Z torsión

Ilustración 26. Momento Z Torsión

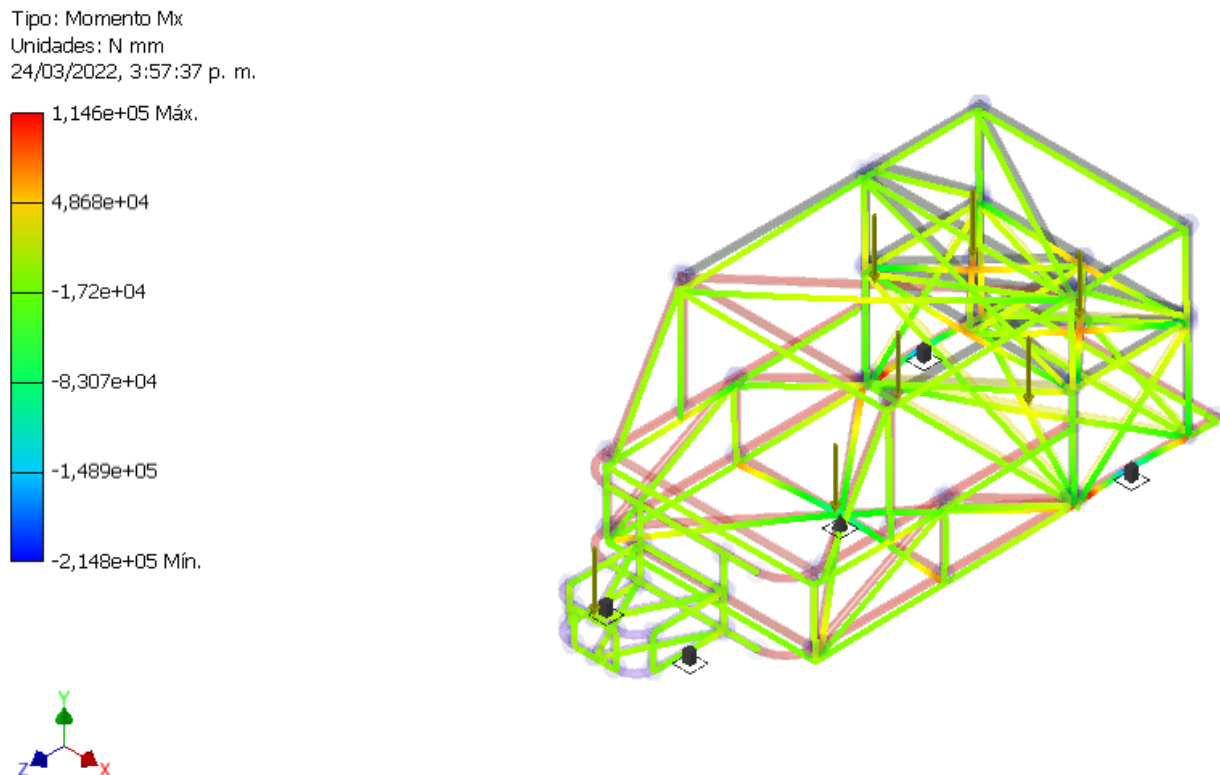
Tipo: Momento Mz
Unidades: N mm
24/03/2022, 3:56:53 p. m.



Según el momento en Z (torsión) nos arroja un rango máximo de 62490 N mm² esto dándonos como conclusión que el material es óptimo a causa que su módulo de Young es de 19.5-20.5x10¹⁰ N m²

8.8. Momento en el eje X sometido a flexión

Ilustración 27. Momento X Flexión



Según el momento en X (Flexión) nos arroja un rango máximo de 114600 N mm² esto dándonos como conclusión que el material es óptimo a causa que su módulo de Young es de 19.5-20.5x10¹⁰ N m² .

8.9. Especificaciones de ingeniería

Para desarrollar el diseño de este *buggy* de carga, se tienen en cuenta los conocimientos previos adquiridos durante la etapa académica, de tal manera ponerlos en práctica para ser implementados y adaptar las partes mecánicas del Renault 4 a este vehículo.

En el momento de diseñar las especificaciones de ingeniería de la estructura de vehículo tipo *buggy* para el transporte de panela se tuvo en cuenta:

- Que este vehículo será utilizado para una carga entre 180 kg a 200 kg carga viva y un piloto, adicional a la carga muerta de las otras partes que lo componen.
- La suspensión delantera debe ser doble triangulo, toda vez que ésta genera estabilidad y confort al vehículo.
- El motor sugerido para este *buggy*, es un motor de moto NS200 o en su efecto otro que cumpla con requerimientos aproximados como: cuatro tiempos, con una potencia máxima de 23 HP, un torque máximo de 13 Nm. Este motor se instalará en la parte trasera, ya que la tracción así lo requiere.
- El sistema de la tracción que se puede implementar es sprocket (plato) y cadena.
- El radiador se acondicionará junto al motor con su respectivo ramal eléctrico, en un lugar protegido para no causar daños al piloto.
- Los cuatro rines y los correspondientes bocines, serán los del Renault4, o de otro tipo de vehículo de esta gama que cumplan con los requerimientos, así mismo el tren trasero como el delantero.

- Las llantas se sugieren que sean de taco, dado que éstas por su grabado y los componentes con los que son fabricadas generan gran adherencia a los terrenos no asfaltados, durabilidad y carcasa más rígida.
- La estructura metálica en total, es diseñada para ser construida en acero al carbón, unida por soldaduras de alta calidad. Terminado esto, se colocarán anclajes para el asiento del piloto, el motor, los pedales tanto del acelerador, *clutch*, frenos, palanca de cambios, radiador, carpa, y en general los que se requieran para el correcto desempeño y funcionalidad del *buggy*.

9. Conclusiones y recomendaciones

- El diseño del chasis escogido es una posible solución para el transporte de carga de panela del estudio de caso de la Finca Santa Barbara en Arbeláez, dado que cumple con los requerimientos de QFD.
- La estructura realizada en el software Inventor arroja información como que, cumple con el objetivo de transportar 200 kg de panela, y el material más acertado para la construcción del diseño es un acero al carbono 1040 toda vez que este presenta características adecuadas para la resistencia del mismo.
- Este diseño de ser construido es una solución factible para el transporte de panela y otros productos, pues estos vehículos tipo *buggy* por su versatilidad, son adaptables y modificables para diversos usos de tipo agroindustrial.

Recomendaciones

- Realizar investigación exhaustiva acerca de las modificaciones de ingeniería y mecánicas de este tipo de vehículos, para poder realizar un diseño eficiente para el uso apropiado.
- La construcción mínima del vehículo con tubería redonda de 1 ¼" calibre 14 de acero al carbón, el uso de soldadura revestida con electrodo E6013 a tope, el corte de tubería tipo boca de pescado para ensambles y la implementación de autopartes y accesorios de vehículos Renault 4.
- La búsqueda de apoyo económico por parte de asociaciones, alcaldías o entidades del gobierno para realizar la fabricación de este tipo de vehículo, toda vez que soluciona una problemática social y económica de este caso en particular.
- Existen en el mercado otros tipos de soluciones viables para este tipo de caso.

10. Referencias Bibliográficas

- Automotriz, C. (2019). No Title.
<https://www.chinaautomotriz.com.co/vitrina/EZ9A3G4zLItBGigbfA1h3IMohW1WQeZjlkYLgJVapog>
- Avilés Orgaz, Á. L., Böttcher, J., & Xydis, G. (2020). Solar-powered golf buggies charging on the road. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, , 1-11. doi:10.1080/15567036.2020.1792589
- CasaJGomez. (2019). No Title. ¿Qué Son Los Ángulos Camber y Caster?
<https://www.casajgomez.com.py/consejos-utiles/angulos-camber-caster/>
- Coches, L. (2020). No Title. <https://loscoches.com/nuevos/can-am/can-am-defender-2/>
- Consultores desarrollo y gestion, A. (2019). No Title. Despliegue de La Función de Calidad. <https://www.aiteco.com/qfd-despliegue-de-la-funcion-de-calidad/>
- Das, A., Unnikrishnan, N., Shankar, B., & Freeman, J. D. (2014). Design, fabrication and testing of the suspension subsystem of a single seater off-road *buggy*. *International Journal of Applied Engineering Research*, 9(5 SPEC. ISSUE), 525-536. Retrieved from www.scopus.com
- Debenest, P., Fukushima, E. F., & Hirose, S. (2003). Proposal for automation of humanitarian demining with *buggy* robots. Paper presented at the IEEE

International Conference on Intelligent Robots and Systems, , 1 329-334. Retrieved from www.scopus.com

Definiciones-de. (2014). No Title. Bocin.

EcuRed. (n.d.). No Title. https://www.ecured.cu/Diseño_estructural#:~:text=La principal funci3n de un,los materiales y sus propiedades.

Española, R. A. (2020). No Title. Cañicultor. <https://dle.rae.es/cañicultor>

Española, R. A. (2020). No Title. Cañicultor. <https://dle.rae.es/cañicultor>

Falco Rojas Ruiz-, A. (2009). No Title. Despliegue de la funci3n calidad (QFD). <https://web.cortland.edu/matresearch/QFD.pdf>

Foroudastan, S. D., & Campbell, I. D. (2005). Student projects: Hands-on experience with mechanical engineering technology. Paper presented at the ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings, 13293-13299. Retrieved from www.scopus.com

Halin, H., Khairunizam, W., Haris, H., Zunaidi, I., Bakar, S. A., Razlan, Z. M., & Mustafa, W. A. (2020). Path tracking simulation of the *buggy* car by using fuzzy information of the steering wheel doi:10.1007/978-981-13-9539-0_6 Retrieved from www.scopus.com

Halin, H., Khairunizam, W., Ikram, K., Haris, H., Bakar, S. A., Razlan, Z. M., . . . Desa, H. (2018a). Investigation of steering wheel control of an electric *buggy* car for

designing fuzzy controller doi:10.1007/978-981-10-8788-2_41 Retrieved from
www.scopus.com

Halin, H., Khairunizam, W., Ikram, K., Haris, H., Zunaidi, I., Bakar, S. A., . . . Desa, H. (2018b). Design simulation of a fuzzy steering wheel controller for a *buggy* car. Paper presented at the 2018 International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences, ICIIBMS 2018, 85-89. doi:10.1109/ICIIBMS.2018.8550008 Retrieved from www.scopus.com

Johnson, J., Joseph, K. M., Jacob, N. D., Pynadath, P. V., & Johnson, J. (2020). Design of mechanized *buggy* for the removal of solid wastes from drainages. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, , 993(1) doi:10.1088/1757-899X/993/1/012025 Retrieved from www.scopus.com

Mazlan, N. N. B. M., Thamrin, N. M., & Razak, N. A. (2020). Comparison between ziegler-nichols and AMIGO tuning techniques in automated steering control system for autonomous vehicle. Paper presented at the 2020 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems, I2CACIS 2020 - Proceedings, 7-12. doi:10.1109/I2CACIS49202.2020.9140089 Retrieved from www.scopus.com

Meng, Q., & Liu, T. (2017). Study on immune PID control method of an in-wheel motor used in an electric car. Paper presented at the Chinese Control Conference, CCC, 9554-9559. doi:10.23919/ChiCC.2017.8028882 Retrieved from www.scopus.com

Motor Canales MAPFRE. (2020). No Title. Guia de Conduccion de Un *Buggy*.
[https://www.motor.mapfre.es/coches/noticias-coches/como-conducir-*buggy*#¿Que_es_un_buggy](https://www.motor.mapfre.es/coches/noticias-coches/como-conducir-<i>buggy</i>#¿Que_es_un_buggy)

Motos, A. (2021). No Title. <https://www.aktmotos.com/motos/carguero/carguero-3w-200>

Pfenniger, F. (2020). No Title. Resistencia Por Geometria.
<http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/resistencia-por-geometria>

Quiroga, N. (2021). Entrevista a Bertulfo Ramirez.

Ralph I. Stephens , Ali Fatemi , Robert R. Stephens, H. O. F. (1980). Metal Fatigue in Engineering.

Rózyło, P. (2019). Passive safety of a *buggy*-type car in the aspect of a dynamic analysis of the frame. *Acta Mechanica Et Automatica*, 13(2), 75-79. doi:10.2478/ama-2019-0010

Sakidin, H., Nor, M. F. M., Hassan, S., Basrawi, F., Ahmad, A., & Rahman, I. (2018). Development of solar powered *buggy* charging station. Paper presented at the MATEC Web of Conferences, , 225 doi:10.1051/matecconf/201822504020 Retrieved from www.scopus.com

Sankar, S. S. (2018). Suspension design and testing of an all-terrain vehicle using multi-body dynamics approach. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, , 376(1) doi:10.1088/1757-899X/376/1/012094 Retrieved from www.scopus.com

Shabana, A. (1986). Dynamics of inertia-variant flexible systems using experimentally identified parameters. *Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME*, 108(3), 358-366. doi:10.1115/1.3258740

Sinha, A. K., Sengupta, A., Gandhi, H., Bansal, P., Agarwal, K. M., Sharma, S. K., . . . Sharma, S. K. (2019). Performance enhancement of an all-terrain vehicle by optimizing steering, powertrain and brakes doi:10.1007/978-981-13-6469-3_19 Retrieved from www.scopus.com

Tiempo-Motor, E. (2019). No Title. ¿qué es y por qué se cambia el ángulo de Cámbor? <https://www.motor.com.co/actualidad/industria/cambia-angulo-camber/32925>

Wikipedia. (2019). No Title. Molienda. <https://es.wikipedia.org/wiki/Molienda>

Wikipedia. (2020). No Title. Trapiche. <https://es.wikipedia.org/wiki/Trapiche>

Yilmaz, E. (2011). Conversion of a dune *buggy* to a hybrid vehicle as a systems design course project. Paper presented at the ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE 2011, , 5 141-150. Retrieved from www.scopus.com