



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto de Investigación
previo a la obtención del título
de Ingeniero Mecánico

TEMA:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE
PRESTACIONES ESPECIALES CON TREN PROPULSOR
ELÉCTRICO”**

AUTORES:

Sánchez Angulo Rubén Darío

Yépez Cerruffo Richard Fernando

DIRECTOR

Ing. Jean Carlos Simancas, Msc

Quevedo – Ecuador

2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, **Rubén Darío Sánchez Angulo** con cédula de ciudadanía N.º. 0804154193 y **Richard Fernando Yépez Cerruffo** con cédula de ciudadanía N.º: 1206434159, declaramos que la investigación aquí descrita es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Rubén Darío Sánchez Angulo

CI: 0804154193

Richard Fernando Yépez Cerruffo

CI: 1206434159

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



El suscrito, **ING. SIMANCAS VARGAS JEAN CARLOS MSC**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que los estudiantes **SANCHEZ ANGULO RUBÉN DARÍO** y **YÉPEZ CERRUFFO RICHARD FERNANDO**, realizaron el Proyecto de Investigación de grado titulado “**DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE PRESTACIONES ESPECIALES CON TREN PROPULSOR ELÉCTRICO.**”, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Simancas Vargas Jean Carlos Msc.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO



ING. JEAN CARLOS SIMANCAS, MSc. En calidad de director de Proyecto de Investigación titulado **“DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE PRESTACIONES ESPECIALES CON TREN PROPULSOR ELÉCTRICO”**. Me permito manifestar a usted y por intermedio al Consejo Académico de Facultad lo siguiente:

Que, los estudiantes **SÁNCHEZ ANGULO RUBÉN DARÍO** y **YÉPEZ CERRUFFO RICHARD FERNANDO** egresados de la Facultad Ciencias de la Ingeniería, han cumplido con las correcciones pertinentes, e ingresado su Proyecto de Investigación al sistema URKUND, tengo a bien certificar la siguiente información sobre el informe del sistema anti plagio con un porcentaje de 8%.

Document Information

Analyzed document	Tesis de grado.pdf (D99675698)
Submitted	3/25/2021 9:35:00 PM
Submitted by	
Submitter email	ruben.sanchez2015@uteq.edu.ec
Similarity	8%
Analysis address	nsalinasb.uteq@analysis.urkund.com

Ing. Simancas Vargas Jean Carlos Msc.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Diseño y construcción de un vehículo de prestaciones especiales con tren propulsor eléctrico”

Presentado al Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Aprobado por:

Ing. Edison Mancheno Padilla

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Diego Punina Guerrero

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Paola Proaño Molina

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

Agradecimiento.

A nuestra familia que siempre estuvo ahí con nosotros, con su apoyo moral, económico y emocional, a ellos le debemos todo lo que somos y hemos logrado.

Agradecemos a nuestros compañeros y profesores de la Carrera, ya que ellos nos apoyaron con su conocimiento para poder cumplir el propósito que es obtener el título de tercer nivel.

Dedicatoria.

*Dedico este trabajo a mi querida abuela Marina Segura,
ya que ella ha sido mi mayor pilar para lograr este objetivo,
también se lo dedico a mí ñaña Carmen
y a mi Mama a quienes quiero mucho,
a mis compañeros también dedico este trabajo
con quienes compartí durante todo este tiempo y
siempre nos apoyamos y por último a mi mejor amiga
Lisette Goya quien siempre estuvo conmigo en todas
mis decisiones y sobre todo siempre dándome ánimos.*

Darío Sánchez

*Dedico el siguiente trabajo a las personas que
siempre han estado conmigo, en mis mejores momentos
y cuando he necesitado una mano amiga,
a quienes siempre me han apoyado con su amor incondicional,
con sus conocimientos, sabiduría y con eso
he podido culminar un peldaño más en mi vida
que es el título de tercer nivel, esas personas son
mi Mamá Tammy Cerruffo y mi hermana Silvia Cerruffo.*

Richard Yépez Cerruffo

Resumen ejecutivo

Este proyecto tiene como finalidad diseñar y construir un vehículo de prestaciones especiales con tren de propulsión eléctrica basándose en la norma FAU para realizar dimensionamiento, parámetros de cargas y comprobar soporte de cargas y seguridad, el diseño de la estructura se realizó con la ayuda del software CAD SOLIDWORKS, además se efectuó un análisis estático con la finalidad de conocer el tipo de deflexiones que sufrirá el vehículo al soportar las cargas que genera el peso de los ocupantes, asientos y componentes eléctricos. El material seleccionado para la construcción de la estructura, es el Acero ASTM A36. Finalmente, para la parte eléctrica del vehículo se utilizará un motor tipo brushless de 4 KW de potencia y se estableció que la batería es una configuración de pilas denominadas 18650, conectadas en serie y paralelo.

Palabras clave: Controlador, Deflexión, Celdas 18650.

Abstract

The purpose of this project is to design and build a special performance vehicle with an electric drive train based on the FAU standard for sizing, load parameters and check load support and safety, the structure design was carried out with the help of SOLIDWORKS CAD software, in addition, a static analysis was carried out in order to know the type of deflections that the vehicle will suffer when supporting the loads generated by the weight of the occupants, seats and electrical components. The material selected for the construction of the structure is ASTM A36 Steel. Finally, a 4 KW brushless motor will be used for the electrical part of the vehicle and it was established that the battery is a configuration of batteries called 18650, connected in series and parallel.

Keywords: Controller, Deflection, 18650 Cells.

ÍNDICE

Resumen ejecutivo	viii
Abstract	ix
ÍNDICE.....	x
Índice de figuras	xiv
Índice de tabla.....	xvii
Código Dublin	xxi
Introducción.....	1
Capítulo I.....	2
1.1. Problema de la investigación.....	3
1.2. Objetivos	4
1.3. Justificación.	5
Capítulo II	6
2.1. Marco Conceptual.....	7
2.1.1. Vehículos Eléctricos	7
2.1.2. Tipos de vehículos eléctricos.....	7
2.1.2.5. Vehículo buggy eléctrico	8
2.1.2.5.1. Elementos principales que componen el buggy eléctrico.	9
2.1.3. Elementos que componen el vehículo eléctrico.....	9
2.1.4.1. Motor de corriente continua.	9
2.1.4.2. Motor síncrono.....	10
2.1.4.3. Motor Asíncrono.	11
2.1.4.4. Motor sin escobillas de imanes permanentes (DC)	12
2.1.4.5. Motor de reluctancia conmutada.	13
2.1.5. Control en los cuatro cuadrantes	13
2.1.6. Rendimiento y eficiencia energética.....	14

2.1.7.	Controladores	15
2.1.8.	Baterías.....	15
2.1.8.1.	Batería ácido plomo	15
2.1.8.2.	Batería de litio	16
2.1.8.3.	Baterías de níquel cadmio	16
2.1.8.4.	Baterías de níquel hierro	17
2.1.8.5.	Baterías de hidruro de níquel metal.....	17
2.1.8.6.	Baterías de sulfuro de sodio	17
2.1.8.7.	Baterías de cloruro de sodio y níquel	17
2.1.8.8.	Baterías de níquel – zinc.....	17
2.1.8.9.	Baterías de zinc-bromuro.....	18
2.1.9.	Características de las baterías.....	18
2.1.9.1.	Efecto de memoria	18
2.1.9.2.	Temperatura de trabajo	18
2.1.9.3.	Ciclo profundo.....	18
2.1.9.4.	Comparativo de especificaciones de baterías.	18
2.1.10.	Chasis o bastidor	19
2.1.10.1.	Tipos de chasis.....	19
2.2.1.	Cargas de diseño.....	22
2.2.1.1.	Carga muerta (m).	22
2.2.1.2.	Carga viva (V).	22
2.2.1.3.	Carga de frenado (F)	23
2.2.1.4.	Carga de aceleración brusca (Ab).	23
2.2.1.5.	Carga por resistencia del aire frontal (Raf).	23
2.2.2.	Esfuerzos mecánicos	23
2.2.3.	Tipos de acero	24

Capítulo III.....	26
3. Metodología de la investigación.....	27
3.1. Localización.	27
3.2. Materiales.....	27
3.3. Tipo de investigación.....	28
3.4. Métodos de investigación.	29
3.5. Diseño de la investigación.	29
3.6. Diseño del chasis.....	29
3.7. Análisis estructural del chasis.	33
Capítulo IV.....	35
4.1. Cálculos analíticos de la estructura.	36
4.1.2. Cálculo de esfuerzos.	41
4.2. Simulación y Análisis	45
4.3. Análisis estructural.	46
4.4. Cálculo del sistema de dirección.	58
4.5. Cálculo de soldadura.....	61
4.6. Selección del motor.....	64
4.7. Construcción, Montaje y Costos	78
4.8. Montaje	84
4.9. Presupuesto.....	89
4.10. Prueba de ruta	90
Capítulo V	92
5.1. Conclusiones y recomendaciones.	93
Capítulo VI.....	95
6. Bibliografía.....	96
Capítulo VII	99

Anexos.....	99
--------------------	-----------

Índice de figuras

Figura 1 Vehículo Buggy eléctrico.....	8
Figura 2 Esquematzación del funcionamiento de un motor de corriente continua con escobillas. Conmutación de polaridad del devanado rotórico.....	10
Figura 3 Funcionamiento de la máquina síncrona como generador (a) y como motor (b).	11
Figura 4 Rotor bobinado cortocircuitado en el exterior (a) y Rotor jaula de ardilla (b) ..	12
Figura 5 Principio de funcionamiento de un motor de DC con imanes permanentes y sin escobillas.....	12
Figura 6 Corte transversal de un motor de reluctancia conmutada.....	13
Figura 7 Perfil ideal de la relación Par/potencia-velocidad de los vehículos.	14
Figura 8 Chasis en escala o independiente.....	20
Figura 9 Chasis Tubular.....	20
Figura 10 Chasis Monocasco.....	21
Figura 11 Localización del proyecto.....	27
Figura 12 Soldadura SMAW.....	30
Figura 13 Centro de gravedad	36
Figura 14 Análisis de viga.....	41
Figura 15 Diagrama de fuerza cortante.	42
Figura 16 Diagrama de momento flector.	42
Figura 17 Croquizado de la estructura.	45
Figura 18 Modelo de la estructura.....	46
Figura 19 Esfuerzo máximo lateral	47
Figura 20 Desplazamiento máximo lateral	48
Figura 21 Factor de seguridad lateral	49
Figura 22 Esfuerzo máximo frontal.....	50
Figura 23 Desplazamiento máximo frontal.....	51
Figura 24 Factor de seguridad frontal	52
Figura 25 Esfuerzo máximo posterior.....	53

Figura 26 Desplazamiento máximo posterior.....	54
Figura 27 Factor de seguridad posterior.....	55
Figura 28 Esfuerzo máximo vertical.....	56
Figura 29 Desplazamiento máximo vertical.....	57
Figura 30 Factor de seguridad vertical.	58
Figura 32 Parámetros del resorte.	59
Figura 33 Ubicación de los puntos críticos.....	62
Figura 34 Diagrama de fuerzas en la viga.....	62
Figura 35 Diagrama de cortante máximo.	63
Figura 36 Tipos de fuerzas en planos inclinados	65
Figura 37 Diagrama de flujo	76
Figura 38 Diagrama de flujo de la construcción del chasis.	78
Figura 39 Materiales de medición.....	79
Figura 40 Tronzadora.....	80
Figura 41 Perfilado del tubo.....	80
Figura 42 Soldadura SMAW.....	81
Figura 43 Estructura pintada.....	81
Figura 44 Triangulos de suspensión.	82
Figura 45 Base del chasis.	82
Figura 46 Cuadro inferior del chasis.....	83
Figura 47 Sistema de suspensión delantero.	83
Figura 48 Sistema de suspension posterior.	84
Figura 49 Montaje de componentes eléctricos.....	85
Figura 50 Transmisión por cadena.....	85
Figura 51 Suspensión delantera.	86
Figura 52 Suspensión posterior.....	86
Figura 53 Sistema de freno delantero.....	87

Figura 54 Sistema de freno posterior.	87
Figura 55 Buggy.	88

Índice de tabla

Tabla 1 Características del electrodo 6011	31
Tabla 2 Dimensiones del vehículo.	32
Tabla 3 Distribución de pesos.	32
Tabla 4 Propiedades del Acero.	33
Tabla 5 Interpolación.....	43
Tabla 6 Propiedades del amortiguador.	59
Tabla 7 Pendiente en grados vs porcentaje.....	65
Tabla 8: Coeficiente de rozamiento.	67
Tabla 9 Potencia de motor con relación a los grados de inclinación en pendientes.	69
Tabla 10 Motores eléctricos.....	69
Tabla 11 Catálogo de controladores	71
Tabla 12 Comparativa de especificaciones entre la batería Acido-Plomo y Litio	72
Tabla 13 Características de la celda 18650	73
Tabla 14 Especificaciones de la batería.....	77
Tabla 15 Presupuesto para la fabricación del buggy.	89
Tabla 16 Prueba de velocidad	90
Tabla 17 Arranque en pendiente	90
Tabla 18 Datos del recorrido.....	91

Índice de ecuaciones

(1) Carga aerodinámica	23
(2) Distribución de pesos.....	36
(3) Longitud entre ejes.....	36
(4) Peso delantero y Peso posterior	36
(5) Altura del centro de gravedad.....	37
(6) Carga de seguridad.....	38
(7) Carga muerta	39
(8) Carga viva	39
(9) Carga de viento	39
(10) Carga de diseño.....	40
(11) Carga distribuida.....	41
(12) Esfuerzo máximo	43
(13) Factor de seguridad.....	44
(14) Índice del resorte	60
(15) Factor cortante.....	60
(16) Fuerza admisible del resorte.....	60
(17) Constante del resorte.....	60
(18) Deformación del resorte.....	61
(19) Área de soldadura.....	63
(20) Esfuerzo máximo del cortante	64
(21) Factor de seguridad de la soldadura.....	64
(22) Sumatoria de fuerzas.....	65
(23) Fuerza de ascenso del vehículo	66
(24) Fuerza de fricción.....	66
(25) Aceleración.....	67
(26) Potencia requerida.....	68

(27) Voltaje requerido	73
(28) Numero de celdas.....	74
(29) Amperaje total	74

Glosario

AISC	Instituto Americano de Construcción en Acero
ASD	Diseño por Esfuerzos Admisibles
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
AWS	Sociedad Americana de Soldadura
FAU	Formula Automovilística Universitaria
FCAW	Arco con núcleo de fundentes
GMAW	Arco metálico y Gas
SMAW	Arco eléctrico revestido

Código Dublin

Titulo:	“Diseño y construcción de un vehículo de prestaciones especiales con tren propulsor eléctrico”			
Autores:	Sánchez Angulo, Ruben Dario; Yépez Cerruffo, Richard Fernando			
Palabras Clave	Prestaciones especiales	Buggy	Celdas 18650	Ion-Litio
Fecha de publicación:				
Editorial:	Quevedo, UTEQ, 2021			
Resumen	Resumen. Este proyecto tiene como finalidad diseñar y construir un vehículo de prestaciones especiales con tren de propulsión eléctrica basándose en la norma FAU para realizar dimensionamiento, parámetros de cargas y comprobar soporte de cargas y seguridad, el diseño de la estructura se realizó con la ayuda del software CAD SOLIDWORKS, además se efectuó un análisis estático con la finalidad de conocer el tipo de deflexiones que sufrirá el vehículo al soportar las cargas que genera el peso de los ocupantes, asientos y componentes eléctricos. El material seleccionado para la construcción de la estructura, es el Acero ASTM A36. Finalmente, para la parte eléctrica del vehículo se utilizará un motor tipo brushless de 4 KW de potencia y se estableció que la batería es una configuración de pilas denominadas 18650, conectadas en serie y paralelo. Abstract. The purpose of this project is to design and build a special performance vehicle with an electric drive train based on the FAU standard for sizing, load parameters and check load support and safety, the structure design was carried out with the help of SOLIDWORKS CAD software, in addition, a static analysis was carried out in order to know the type of deflections that the vehicle will suffer when supporting the loads generated by the weight of the occupants, seats and electrical components. The material selected for the construction of the structure is ASTM A36 Steel. Finally, a 4 KW brushless motor will be used for the electrical part of the vehicle and it was established that the battery is a configuration of batteries called 18650, connected in series and parallel.			
Descripción:	Hojas: Dimensiones 290 x 210 mm: CD-ROM			
URL:				

Introducción.

A lo largo de la historia los automóviles han utilizado la energía proveniente de combustibles fósiles para su funcionamiento, con los efectos que el proceso de combustión provoca en el entorno; con el pasar del tiempo y mientras avanza la tecnología las tendencias actuales buscan reemplazar o sustituir los combustibles provenientes de los procesos de refinación del petróleo por energía renovables.

En el Ecuador la tendencia de uso vehículos eléctricos cada vez suma adeptos, razón por la cual casas comerciales han introducido modelos de vehículos híbridos y eléctricos, enfocados en un cambio en las tendencias de consumo, con un sentido ambientalista. según el INEC (Instituto nacional de estadística y censo), se cuenta con un parque automotor de aproximadamente 2'403.651 vehículos, según datos de matriculación, de los cuales 276 son eléctricos, es decir tan solo el 0.01%.

La presente investigación consiste en el diseño y posterior construcción de un vehículo de prestaciones especiales con tren propulsor eléctrico, que utiliza la energía eléctrica proveniente de un sistema de baterías creado a partir de materiales reciclados, provenientes de computadoras fuera de uso, con el fin de reducir peso y espaciamiento en el vehículo.

Capítulo I

**CONTEXTUALIZACIÓN DE LA
PROBLEMATIZACIÓN**

1.1. Problema de la investigación.

1.1.1. Descripción de la problemática.

Los vehículos se han convertido a lo largo del tiempo desde su creación, en un medio necesario para la movilidad del ser humano, a medida que se avanza en el tiempo han surgido varios cambios en el sistema de propulsión de los vehículos, pasando de los motores de combustión externa a combustión interna y hoy en países más desarrollados llevan una transición lenta hacia los vehículos con motores eléctricos.

Las posibles razones por las que estos vehículos no son adquiridos en mayor volumen son: costos elevados, tiempos de carga largos, accesibilidad a talleres de reparación y falta de confianza en la funcionabilidad del sistema.

1.1.1.1. Diagnóstico.

La falta de interés que existe en el Ecuador para desarrollar proyectos en el área automotriz de los vehículos eléctricos.

1.1.1.2. Pronóstico.

El conocimiento de nuevas tecnologías con respecto a los vehículos eléctricos en el área automotriz, será de beneficio para la sociedad ya que la implementación de motores eléctricos en vehículos con prestaciones especiales proporcionará información respecto a la funcionabilidad.

1.1.2. Formulación del problema

- ❖ ¿Qué aporte brinda, el diseño y la construcción de un vehículo con prestaciones especiales con tren propulsor eléctrico?

1.1.3. Sistematización del problema.

- ❖ ¿El diseño estructural tendrá las condiciones necesarias que garanticen la construcción del buggy?
- ❖ ¿Qué materiales y componentes son adecuados para la construcción de un vehículo con prestaciones especiales?
- ❖ ¿Cuál es la reducción del peso si se adapta una batería formada por pilas con denominación 18650?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- ❖ Diseñar y construir un vehículo de prestaciones especiales con tren propulsor eléctrico.

1.2.2. Objetivos específicos

- ❖ Realizar el diseño del chasis del vehículo mediante el software CAD “SOLIDWORK” para modelar su comportamiento mecánico.
- ❖ Construir la estructura tubular del Buggy, aplicando la norma de automovilismo FAU.
- ❖ Seleccionar el motor eléctrico que sea capaz de impulsar el vehículo.
- ❖ Adaptar pilas denominadas 18650 mediante conexión en serie y paralelo para darle energía a los componentes eléctricos.

1.3. Justificación.

A lo largo de los años el vehículo Buggy ha sido construido para lugares desérticos y montañosos, pero en la actualidad estos vehículos son usados en las ciudades porque no ocupan mucho espacio, son cómodos y de fácil manejo.

Para el diseño y simulación de la estructura se utilizará el software CAD SOLIDWORKS, con el fin de analizar los esfuerzos que actúan en la estructura y cómo se comportan cada una de sus partes y de esta manera evitar fallos mecánicos que se puedan presentar en la fase de construcción del vehículo.

En Ecuador no hay todavía un porcentaje aceptable de vehículos eléctricos, pero con el pasar del tiempo esta alternativa será la más viable, pero antes se debe hacer un estudio minucioso respecto a la planificación de la implementación de puntos de carga rápidos.

Capítulo II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Marco Conceptual.

2.1.1. Vehículos Eléctricos

El término de vehículos eléctricos se refiere a una gran diversidad de tecnologías diferentes con distintos grados de electrificación del tren de potencia. Los vehículos eléctricos poseen distintas variables que van desde hibridaciones eléctricas suaves de motores de combustión en las que el motor eléctrico no puede mover por sí mismo el coche, hasta electrificaciones últimas en las que nada más existe un motor eléctrico y una batería. [1]

2.1.2. Tipos de vehículos eléctricos.

2.1.2.1. Vehículos eléctricos a batería o BEV (Battery Electric Vehicle).

Estos vehículos son capaces de moverse únicamente gracias a la intervención de uno o varios motores eléctricos alimentados por una batería, que puede ser recargada en la red.

En la gran mayoría de vehículos BEV se concentran sistemas capaces de recuperar la energía de la frenada y la desaceleración, es decir, mediante la electrónica el motor se puede convertir en un generador de corriente capaz de meter energía en la batería. [2]

Los vehículos tipo BEV no tienen emisiones a la atmosfera de forma local, las emisiones que se pueden considerar de estos vehículos dependen del país en el que se encuentren y su forma de producir la electricidad que cargarían las baterías del vehículo. [2]

2.1.2.2. Vehículos eléctricos de hidrogeno o FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle).

Son vehículos movidos por pila de combustible de hidrogeno. La diferencia fundamental es que la energía para alimentar el motor o los motores eléctricos no proceden de baterías, si no de una reacción química que se produce en el interior de la pila de combustible, nutrida por hidrógeno: este se oxida perdiendo electrones que se capturan para formar una corriente eléctrica que mueve el motor. [2]

2.1.2.3. Vehículos eléctricos de autonomía extendida o EREV (Extended range electric vehicles).

Estos vehículos cuentan con una mecánica preparada también por un motor de combustión de gasolina y uno o varios eléctricos, la diferencia es que el motor de

combustión funciona como un generador eléctrico que recarga las baterías, que, a su vez, alimentan el motor eléctrico que es el encargado de mover las ruedas, además la batería también tiene la posibilidad de conectarse a una red para ser recargada. [2]

2.1.2.4. Híbridos enchufables o PHEV (plug-in hybrid electric vehicle).

Los híbridos enchufables cuentan con motor de combustión interna y motor eléctrico, ambos motores son capaces de mover el vehículo por sí solos y de forma combinada.

Para sostener el motor eléctrico este tipo de vehículos cuentan con una pequeña batería de rango corto (Aproximadamente unos 50 kilómetros de autonomía) y a su vez esta batería tiene la posibilidad de cargarse a través de la red eléctrica, es decir, si se cuenta con un punto de carga en el hogar se puede manejar como vehículo totalmente eléctrico en distancias cortas. [2]

2.1.2.5. Vehículo buggy eléctrico

Los vehículos buggys son vehículos ligeros que requieren poca potencia actualente en el mercado se encuentran buggys eléctricos con una potencia que oscila entre los 5Kw y los 10Kw, con velocidades aproximadas de 65 Km/h y baterías de 60V y 50Ah, ofreciendo una autonomía corta de 50 Km aproximadamente.

Figura 1 Vehículo Buggy eléctrico



Fuente: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/curiosidades/alibaba-buggy-electrico-divertido-barato-2000-euros/20210208133555042333.html>

2.1.2.5.1. Elementos principales que componen el buggy eléctrico.

Motor.- El motor es el corazón de la máquina, aquello que va a transformar la energía eléctrica en potencia mecánica. La utilización del motor eléctrico es uno de los verdaderos puntales para promover el cambio tecnológico, ya que es un sistema motriz que consigue dar par (potencia) sin emitir ningún tipo de residuo. [1]

Controlador: Es el dispositivo electrónico que utiliza modulador de ancho de pulso (PWM). Este dispositivo se encarga de asegurar el funcionamiento de todos los componentes del sistema enviando impulsos de corta duración al motor. [7] [8]

Baterías: La batería es el elemento encargado de proveer de la energía necesaria para el funcionamiento adecuado de todos los demás elementos, en la mayoría de buggys eléctricos se equipan baterías de acido-plomo y bajas especificaciones de carga con la finalidad de reducir los costos de fabricación.

2.1.3. Elementos que componen el vehículo eléctrico.

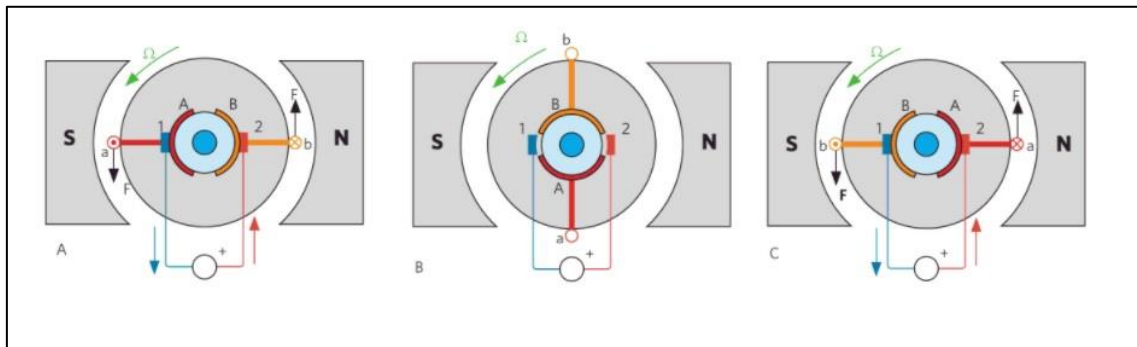
2.1.4. Tipos de motor.

2.1.4.1. Motor de corriente continua.

Este tipo de máquina funciona, con corriente continua. Todas las máquinas eléctricas usan como fundamento teórico básico la inducción electromagnética. Una corriente eléctrica que circula por una bobina induce un campo magnético que la atraviesa, y la variación del flujo de un campo magnético a través de una espira induce una corriente eléctrica en la espira. [1]

Para comprender su funcionamiento hay que diferenciar dos elementos en una máquina eléctrica: el rotor y el estator. Como indica su nombre, el estator es una parte fija a la carcasa, donde se encuentra un bobinado que, en el caso de los motores convencionales de continua, creará un imán inmóvil. El rotor es la parte central giratoria, adherida al eje, en el que se creará el imán que perseguirá al del estator. El funcionamiento de la máquina de continua convencional consiste en establecer un imán (campo magnético fijo) por medio del tráfico de la corriente continua en el bobinado del estator, y crear otro campo magnético en el rotor de la misma manera. Se entiende que es necesario excitar ambas partes de la máquina con corriente continua para su funcionamiento. [1]

Figura 2 Esquematzación del funcionamiento de un motor de corriente continua con escobillas. Conmutación de polaridad del devanado rotórico.



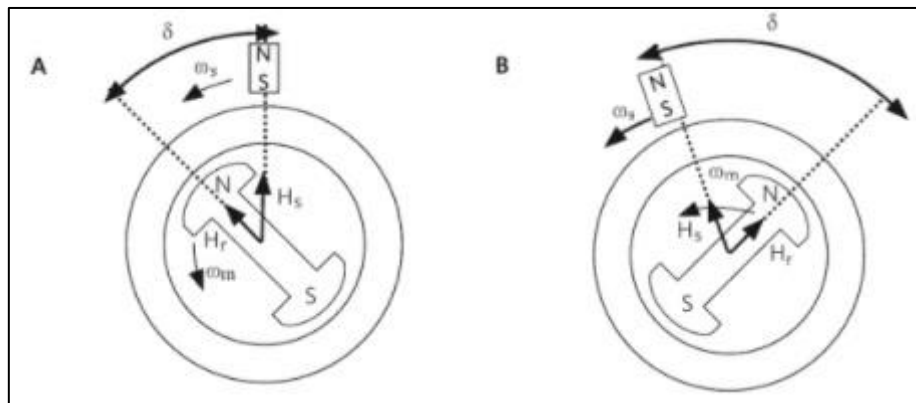
Fuente: El vehículo eléctrico: Desafíos tecnológicos, infraestructura y oportunidad de negocio

2.1.4.2. Motor síncrono.

Las máquinas síncronas son aquellas que tienen igualdad de velocidades de los imanes en ambas partes. [3]

En las máquinas de corriente alterna se utiliza alimentación trifásica aprovechando las propiedades de las ondas para crear campos magnéticos giratorios. Según la disposición del bobinado estatórico hará que la superposición de los campos inducidos en el bobinado de cada fase tenga como consecuencia el imán rotativo del estator. La rotación del imán creada por la mezcla de la alternancia de las tres fases intentará ser copiada por el imán del rotor, ya sea un imán permanente o creado por un bobinado alimentado con corriente continua. [3]

Figura 3 Funcionamiento de la máquina síncrona como generador (a) y como motor (b).



Fuente: El vehículo eléctrico: Desafíos tecnológicos, infraestructura y oportunidad de negocio

2.1.4.3. Motor Asíncrono.

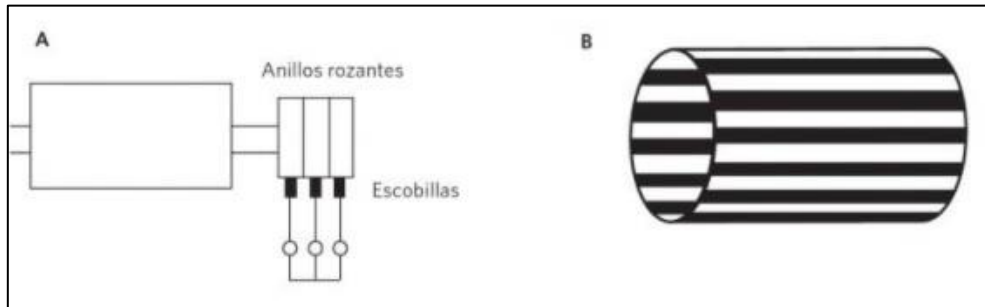
La máquina asíncrona debe su nombre a que las velocidades del motor y del estator no son iguales.

El estator de una máquina asíncrona trifásica es igual al de una máquina síncrona: devanador para cada fase a 120° de orientación entre ellos, o diferentes polos según velocidad del sincronismo ansiada. El rotor de la máquina (inducido) está compuesto de un séquito de chapas apiladas en forma de cilindro, en las que están las ranuras que dan lugar a dos tipos de arquitecturas:

- ❖ **Rotor bobinado:** En las ranuras se enrollan los conductores que forman el devanado. Este es igual que el del estator, pero con más espiras debido a la utilización de conductores de menor sección, que crecen la resistividad del conjunto. El bobinado del rotor acostumbra a ser también trifásico, con una conexión en estrella en un extremo de los conductores, y salida al exterior del rotor a través de unos anillos rodantes y escobillas en el otro extremo. Las tres fases salientes a través de las escobillas se cortocircuitan en el exterior una vez que se ha perfeccionado el procedimiento de arranque, mediante el cual se obtiene un par mayor acoplando una resistencia al bobinado. [1]

- ❖ **Rotor de jaula de ardilla:** Las ranuras se llenan de aluminio inyectado o cobre, soldado, sin inyectar de manera que se formen barras de este material, que quedarán unidas por anillos transversales en los extremos. [1]

Figura 4 Rotor bobinado cortocircuitado en el exterior (a) y Rotor jaula de ardilla (b)

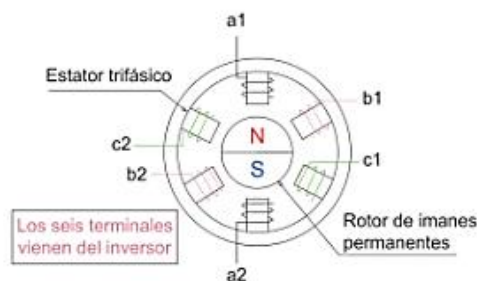


Fuente: El vehículo eléctrico: Desafíos tecnológicos, infraestructura y oportunidad de negocio.

2.1.4.4. Motor sin escobillas de imanes permanentes (DC)

Los motores DC sin escobillas o BLCD son máquinas eléctricas con imán permanente en el rotor y bobinas en el estator (tres o más fases), sostenidas con un conjunto de tensiones polifásicas alternas (sinusoidales o trapezoidales), creadas por medio de un circuito inversor controlado de forma que las características de operación de la máquina eléctrica emules las de un motor DC convencional (motor DC con escobillas) en lo referente a las relaciones par/corriente y velocidad angular/voltaje. [4]

Figura 5 Principio de funcionamiento de un motor de DC con imanes permanentes y sin escobillas.



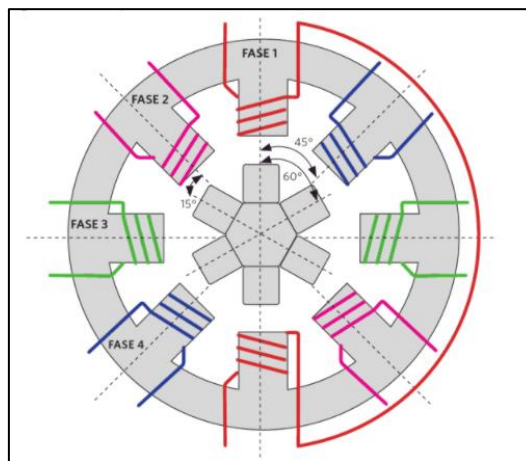
Fuente: El vehículo eléctrico: Desafíos tecnológicos, infraestructura y oportunidad de negocio

2.1.4.5. Motor de reluctancia conmutada.

El funcionamiento de este motor radica en que el rotor dentado de material ferromagnético sea orientado según el campo magnético creado en el estator. El polo del estator donde se crea instantáneamente el campo atrae al diente del rotor más próximo, de forma que entre el polo y el material ferromagnético del rotor haya la mínima distancia. Es decir, las líneas de campo magnético intentan ir por el camino más pequeño posible del estator al rotor para cerrar el circuito magnético. [4]

La conmutación y variación del campo creado en el estator se realiza por inversores y convertidores (electrónica de potencia), gracias a los que se puede modificar la velocidad y el par de giro del motor. [5]

Figura 6 Corte transversal de un motor de reluctancia conmutada.



Fuente: El vehículo eléctrico: Desafíos tecnológicos, infraestructura y oportunidad de negocio

2.1.5. Control en los cuatro cuadrantes

Casi todos los motores eléctricos pueden girar en ambos sentidos. Además, el motor puede empujar a la carga (entrega de par) o puede ser empujado por ella. Así pues, se tiene dos sentidos de giro y otros dos de par, por lo que obtenemos 4 posibilidades. Si se representa en el plano cartesiano, donde el eje vertical sea el par y el eje horizontal la velocidad, obtenemos: [1]

Primer cuadrante: par y sentido de giro positivos. El motor empuja a la carga consumiendo energía eléctrica (marcha adelante y acelerando).

Segundo cuadrante: par positivo y sentido de giro negativo. El motor es arrastrado por la carga. El motor actúa como generador y frena la carga, que en este caso sería el impulso del vehículo hacia atrás (marcha atrás y frenando). [1]

❖ **Frenado reostático:** la energía absorbida se consume en unas resistencias o en los devanados del propio motor.

❖ **Frenado con recuperación:** la energía se devuelve a la batería.

Tercer cuadrante: el par y la velocidad son negativos. El motor empuja hacia atrás entregando potencia mecánica (marcha atrás acelerando)

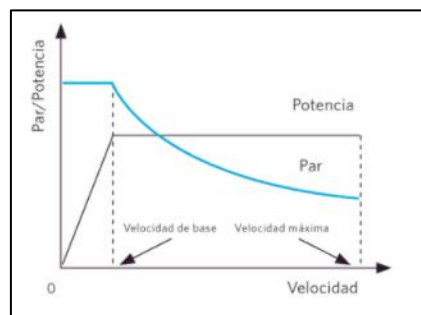
Cuarto cuadrante: velocidad positiva y par motor negativo, en contra marcha. Es el caso en que el vehículo va hacia delante, pero está trabado. Se recupera energía manipulando el motor como generador.

Nota: Siempre que el signo par y la velocidad son diferentes, el par del motor se opone a la velocidad, por lo que se está recuperando energía.

2.1.6. Rendimiento y eficiencia energética.

En los motores eléctricos que se usan en las industrias, el rendimiento medio ronda el 90%, por lo que se le debe requerir al motor eléctrico encargado de propulsar un vehículo que su eficiencia sea superior al 90% en sus condiciones nominales. [6] De esa forma se garantiza que el 90% de la energía que toma el motor, en forma de electricidad, se va a transformar en energía mecánica en el eje de salida del motor.

Figura 7 Perfil ideal de la relación Par/potencia-velocidad de los vehículos.



Fuente: El vehículo eléctrico: Desafíos tecnológicos, infraestructura y oportunidad de negocio.

2.1.7. Controladores

Las funciones del controlador son regular la velocidad y el par del motor eléctrico. El objetivo es limitar el arranque del motor eléctrico, ya que puede hallarse una enorme intensidad eléctrica. [9] También controla el extensor de autonomía, encendido y apagado cuando sea preciso. Pueden ser programables de acuerdo a las características de voltaje y corriente utilizada por el motor eléctrico [8].

Funciones importantes de un controlador:

- ❖ Arrancar y parar el motor eléctrico.
- ❖ Proporcionar al motor eléctrico un par torsional, aceleración, velocidad o desaceleración controlada.
- ❖ Proporcionan el funcionamiento coordinado de distintos componentes del sistema.
- ❖ Ciertos controladores poseen la capacidad del freno regenerativo para que pueda el motor eléctrico actuar como generador y poder recargar las baterías.
- ❖ Proporcionan la inversión de giro para el motor eléctrico.
- ❖ Proteger el motor eléctrico contra sobrecargas que pudieran introducir valores peligrosamente altos de corriente por el motor.

2.1.8. Baterías

Unos de los componentes principales para el Vehículo eléctrico son las baterías ya que proporcionan energía a todo el sistema eléctrico. Las baterías son dispositivos electroquímicos que transforma energía química en energía eléctrica y viceversa. Las baterías deben tener una característica importante ser de ciclo profundo, es decir que puede ser reversible, que pueden ser cargada y descargada varias veces. [10]

2.1.8.1. Batería ácido plomo

Son las más antiguas y son todavía factibles para el almacenamiento de energía eléctrica. Tienen la desventaja de que deben ser aguadas, es decir, que tienen que añadirse agua

destilada y bicarbonato periódicamente para prever el rastreo de iones. Este fenómeno se produce cuando una sequedad o humedad en la parte superior de la batería forma una parte conductora de un terminal a otro, lo que puede causar una avería. La temperatura tiene una consecuencia directa en las baterías, entonces se recomienda cajas aislantes para estas baterías. Ocupan demasiado espacio y pesan mucho. El tiempo de recarga puede oscilar entre 8 y 10 horas. [11] [10]

2.1.8.2. Batería de litio

La denominación de baterías de litio incluye las de:

- ❖ Ion-Litio
- ❖ Litio-metal
- ❖ Sulfuro de litio
- ❖ Polímero de litio

Estas baterías están siendo desarrolladas por Nissan y por la cooperación Sony. Las características que poseen son: alta energía específica, alta potencia, no sufre el efecto de memoria y la vida de la batería es de 1000 ciclo. Las desventajas son su elevado costo y el sistema de ventilación que necesitan para mantener las baterías frías. Se usan en teléfonos móviles, laptops, reproductores y cámaras, y probablemente en la siguiente generación de vehículos híbridos y eléctricos conectados a la red. [12] [10]

2.1.8.3. Baterías de níquel cadmio

Están en uso en algunos vehículos eléctricos europeos y japoneses. Por así decirlo, son las baterías de más alta tecnología de las que se disponía hasta el año 2001. Son más caras ya que el níquel resulta bastante costoso son ventajosas por su alta densidad de energía y un ciclo de vida de 1000 recargas. El cadmio es un metal pesado muy tóxico, además de verse afectada por el efecto de memoria. [10]

2.1.8.4. Baterías de níquel hierro

Tienen una alta densidad de energía y son capaces de realizar 1000 ciclos de profundas descargas antes de la recarga. Es necesario un 11 % de sobrecarga para ser cargados. La eficiencia es de 65% de estas baterías que comparadas a las demás es relativamente baja.

2.1.8.5. Baterías de hidruro de níquel metal

Compuestas de materiales reciclajes no tóxicos. Está compuesta de hidróxido de níquel y compuesta de aleaciones de: vanadio, titanio, níquel y otros metales. Su recarga es rápida y puede resistir sobrecargas y abuso de descargas. Una desventaja es sin duda su alto costo. [10]

2.1.8.6. Baterías de sulfuro de sodio

Están siendo estudiadas y desarrollo por de la compañía Ford. El vehículo Ford Ecostars usa estas baterías teniendo una autonomía superior a 150 millas por carga. Estas baterías usan tubos electrolitos de cerámica-aluminio con electrodos de sodio negativo y electrodos de sulfuro positivo dentro de un condensador aislados y sellado. Su desventaja es la de altas temperaturas que se tienen que alcanzar para su seguridad y deben ser cargadas constantemente para que el sodio como el sulfuro no solidifique. [13]

2.1.8.7. Baterías de cloruro de sodio y níquel

Están siendo desarrolladas por AEG Anglo Batterie. Operan a temperaturas de 300 °C. Las baterías pueden ser enfriadas y recalentadas sin daños, sin embargo, no se puede hacer ninguna de las cosas anteriores si la temperatura está por debajo de 270 °C. Mercedes Benz, BMW, Opel están probando coches eléctricos con estas baterías [10]

2.1.8.8. Baterías de níquel – zinc

Tiene mayor potencia que las de ácido conductor, pero tienen un ciclo de descarga corto, por lo que son utilizables en distancias cortas.

2.1.8.9. Baterías de zinc-bromuro

Almacena energía mediante el depósito de zinc sobre una superficie para luego recuperar al eliminarse este. El bromuro es toxico, y además no son seguras para utilizarlos en vehículos. [10]

2.1.9. Características de las baterías

Para la selección de las baterías se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros.

2.1.9.1. Efecto de memoria

Ocurre cuando se acostumbra algunos tipos de baterías a entregar una cantidad de energía menor a la que todavía es capaz de dar, esto significa que no se descarga totalmente, se vuelve a cargar de nuevo [14]. La batería parece recordar a no entregar toda la carga que posee, y las siguientes veces que se utiliza se agota antes. [10]

2.1.9.2. Temperatura de trabajo

A bajas temperaturas la capacidad y la actividad química de trabajo disminuyen mientras que el incremento de la temperatura, dentro de ciertos límites, aumenta la actividad de los procesos químicos dentro de la batería y también la capacidad de ella. [10]

2.1.9.3. Ciclo profundo

Son aquellas que han sido diseñadas para hacer frente a las exigencias de continuos procesos de carga y de descarga. Se conoce como el tiempo que demora una batería recargable en descargarse a sus límites mínimos de carga para luego volver a cargarse en un 100% de su capacidad. [15] La vida útil de una batería de ciclo profundo guarda directa relación a que tan profundo llega a descargarse. Mientras menos profunda se llegue a descargar la batería mayor será la vida útil de ella. Por tanto, se recomienda descargarla en un 80% máximo para volver a cargarla. En promedio, una batería de ciclo profundo puede llegar a cumplir 2000 ciclos. [10]

2.1.9.4. Comparativo de especificaciones de baterías.

En la Tabla 12 Comparativa de especificaciones se compara las especificaciones de los diferentes tipos de baterías. Estos parámetros básicos se deben tomar en cuenta para

entender las características que debe tener una batería. La elección de la batería se debe organizar en su energía específica, densidad, potencia, ciclos de vida, eficiencia, reciclado y tiempo de carga. [10]

2.1.10. Chasis o bastidor

El bastidor de un vehículo es el armazón sobre el que se montan y sujetan todos los mecanismos, soportando el peso de unos (motor, caja de velocidades, etc.) y quedando otros colgados de él (suspensión y ruedas). [16]

En cuanto al comportamiento mecánico hay que decir que el chasis es más rígido que la carrocería. Sin embargo, es importante en el momento de un choque, que la carrocería se deforme todo lo que se alcance para no transmitir la energía de la colisión al piloto y por otra parte sobresalta que el chasis se deforme poco para no alterar las características geométricas de los elementos que se acoplan en él. [16]

2.1.10.1. Tipos de chasis.

El chasis de un vehículo permite que tenga una estructura similar a la de los huesos del cuerpo humano, es por ello que existen diferentes tipos de chasis que ofrecen características diferentes y configuraciones.

2.1.10.2. Chasis de escalera.

El chasis de escalera es el más antiguo y común. Su diseño es muy básico y tiene algunas otras ventajas, como por ejemplo que puede ser producido en masa ya que es bastante barato de fabricar. La mayor desventaja es que hay poca profundidad a la estructura general dándole un centro de gravedad muy bajo. [16]

Figura 8 Chasis en escala o independiente.



Fuente: <https://www.motor.es/que-es/chasis-independiente-escalera>

2.1.10.3. Chasis tubular

La carrocería tubular es un tipo de carrocería utilizado en vehículos clásicos deportivos de mediados del siglo XX. Fue creada por el carrocer italiano Touring en 1937.

En este tipo de chasis se utiliza como estructura del vehículo, una red de tubos delgados metálicos soldados, frecuentemente de metales tales como aluminio o magnesio; esta técnica consigue una estructura de gran rigidez y resistencia con poco peso. [16]

Figura 9 Chasis Tubular



Fuente: <https://www.diariomotor.com/breve/coyote-sr20det-nissan-video/>

2.1.10.4. Chasis monocasco

Se denominan monocasco, los vehículos que incluyen el chasis y el habitáculo de componentes y de pasajeros en una sola pieza con punteras que sirven de soporte al motor.

Hoy en día casi todos los automóviles se construyen con la técnica de monocasco, realizándose las uniones entre las distintas piezas mediante soldadura de punto. Existen vehículos en los cuales hasta los cristales forman parte de sus estructuras, brindando fortaleza y rigidez a todo el conjunto. [16]

Figura 10 Chasis Monocasco



Fuente: <https://www.diariomotor.com/breve/coyote-sr20det-nissan-video/>

2.2. Marco referencial

2.2.1. Cargas de diseño.

La tarea más importante y difícil que debe enfrentar un diseñador de estructuras es la estimación de cualquier carga que recibirá una estructura durante su vida útil. No debe omitirse la consideración de cualquier carga que pueda llegar a presentarse. Después de que se han estimado las cargas es necesario investigar las combinaciones más desfavorables que pueden ocurrir en un momento dado. [17]

A continuación, se redacta una breve introducción a los tipos de cargas. Para los efectos de la presente Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323 se adoptan las definiciones.

2.2.1.1. Carga muerta (m).

Corresponde al peso total del chasis en condiciones operativas, lo que incluye todos los componentes estructurales y no estructurales permanentes. Las cargas muertas son cargas de magnitud constante que permanecen fijas a un mismo lugar. Éstas son el peso propio de la estructura y otras cargas permanentes unidas a ellas. [17]

Para diseñar una estructura es necesario estimar los pesos o cargas muertas de sus componentes, Las dimensiones y pesos exactos de las partes no se conocen hasta que se hace el análisis estructural y se selecciona los miembros de la estructura. Los pesos determinados de acuerdo con el diseño, deben compararse con los pesos estimados.

2.2.1.2. Carga viva (V).

Corresponde a la carga por ocupación y se la considerará como distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales. Las cargas vivas son aquellas que pueden cambiar de lugar y magnitud. Dicho simplemente, todas las cargas que no son muertas, son vivas. [17]

Las cargas que se mueven bajo su propio impulso como camiones, gente, etc. se denominan cargas móviles y aquellas que pueden ser remplazadas, muebles, accesorios se denominan cargas móviles.

2.2.1.3. Carga de frenado (F)

Corresponde a la fuerza producida por el frenado del vehículo. Se asume una desaceleración mayor o igual a 4 m/s². [17]

2.2.1.4. Carga de aceleración brusca (Ab).

Es la fuerza producida por la aceleración brusca del vehículo. Se calcula con el mismo criterio de la carga de frenado, pero en sentido contrario.

2.2.1.5. Carga por resistencia del aire frontal (Raf).

Es la fuerza del aire actuando sobre un área correspondiente a la proyección del vehículo en un plano perpendicular a su eje longitudinal. Se utilizará la siguiente formula. [17]

$$Raf = \frac{1}{2} \cdot Cx \cdot p \cdot Af \cdot V^2 \quad (1)$$

Donde:

- ❖ Raf. - Carga por resistencia Aerodinámica, en (N)
- ❖ p.- Densidad del aire, en (kg/m³)
- ❖ V.- Velocidad del aire, en (m/s)
- ❖ Af. - Área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal, en (m²)
- ❖ Cx.- Coeficiente de resistencia frontal del aire.

2.2.2. Esfuerzos mecánicos

2.2.2.1. Esfuerzo por tensión.

Es el tipo de reacción que se produce en el interior de una pieza o estructura cuando a esta se le aplica una carga, la tensión por lo general tiene la misma magnitud, pero en sentido contrario a la carga aplicada, su unidad de medida es en Pascales, dado que es la fuerza aplicada en una determinada área, los esfuerzos por tensión se dividen en tracción, flexión, cortante, deflexión. [18]

2.2.2.2. Esfuerzo cortante.

El esfuerzo cortante de una viga o estructura está distribuido uniformemente sobre todo el ancho de la sección analizada, siendo el esfuerzo promedio calculado por el ancho de

la sección, conociendo que, en toda estructura sometida a una fuerza puntual o distribuida, existe en dicha estructura un esfuerzo cortante. [19]

2.2.2.3. Esfuerzo por compresión.

Es la fuerza por unidad de área cuya función es apretar o comprimir un objeto con la finalidad de cortarlo, el esfuerzo de compresión es un esfuerzo normal, debido que la fuerza que lo produce es perpendicular al área sobre la cual lo ejerce. Dicho esfuerzo puede comprimir el objeto o a su vez tensarlo y estirarlo según sea la aplicación que se le dé, una vez que se deja de ejercer la fuerza, los materiales regresan a su estado normal si tienen buena elasticidad, caso contrario se fracturan. [20]

2.2.2.4. Esfuerzo por fatiga.

Los esfuerzos por fatiga empiezan o se dan particularmente en áreas donde hay concentradores de esfuerzos, si se da dicho caso, los esfuerzos por fatiga pueden ser identificados fácilmente, por el agrietamiento progresivo que se reflejará en el área afectada y si no es identificada a tiempo se producirá fractura en el material. [21]

2.2.2.5. Esfuerzo por pandeo.

El pandeo se genera cuando el grado de esbeltez mecánica supera el esfuerzo de fluencia del material, si este es el caso se deberá utilizar un material con un esfuerzo a la fluencia superior para que la estructura soporte el pandeo, se puede soportar el esfuerzo de pandeo si se establecen sujeciones a los extremos de la viga. [22]

2.2.3. Tipos de acero

En el ámbito mecánico los aceros se clasifican en cinco grupos: aceros aleados, aceros al carbono, aceros de baja aleación, aceros inoxidables y aceros para herramientas. [23]

2.2.3.1. Aceros aleados.

Son los que además de hierro y carbono, poseen otra aleación para mejorar sus propiedades mecánicas, los metales aleantes más usados en este tipo de aceros son: el manganeso, níquel, cromo, tungsteno, molibdeno y vanadio. Estos aleantes mejoran la tenacidad y resistencia de los aceros, con respecto a la soldabilidad, se podría decir que se pueden soldar estos aceros aleados fácilmente, aunque el proceso de soldadura se debe llevar con más cuidado que con los aceros ordinarios. [24]

2.2.3.2. Aceros al carbono.

Se conoce que casi un 90% de los aceros contienen un porcentaje de carbono, menos de 1,65% de manganeso, un 0,6% de silicio y un 0,6% de cobre. Estos aceros se usan en la fabricación de máquinas, carrocerías de vehículos y estructura de construcción. [25]

2.2.3.3. Aceros de baja aleación.

Estos aceros son de los más recientes de la familia de aceros, estos son más baratos con respecto a los aceros de aleación convencional ya que contienen cantidades menores de los elementos de aleación, sin embargo, estos reciben un tratamiento especial que les otorga una resistencia mayor en comparación con la resistencia de los aceros al carbono. [26]

Capítulo III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

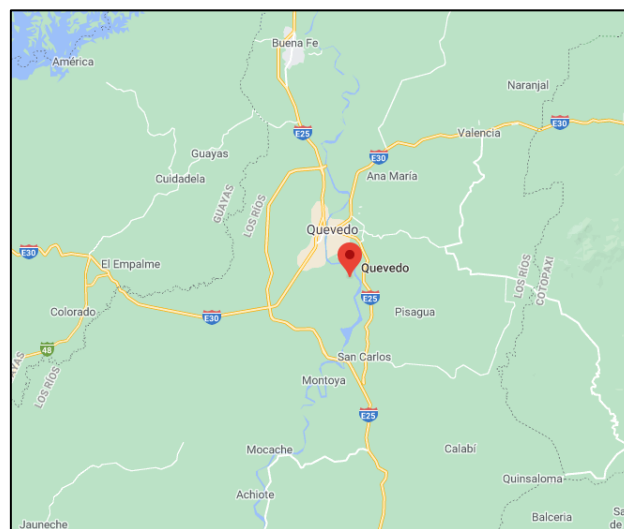
3. Metodología de la investigación.

3.1. Localización.

El presente trabajo de investigación se realiza en la ciudad de Quevedo, Provincia de Los Ríos región Costa de la República del Ecuador.

La provincia cuenta con una población aproximada de 198.687 habitantes según los datos del INEC (Instituto Nacional de Encuestas).

Figura 11 Localización del proyecto



Fuente: Google maps

3.2. Materiales

En el lapso de toda la investigación se usó diferentes equipos, herramientas y materiales, los cuales se clasificaron como se presenta a continuación:

3.2.1. Materiales utilizados para la investigación de campo.

- ❖ Tubos de acero ASTM A36 de 1" x 6 m.
- ❖ Platina 2" x 1/4
- ❖ Electrodo Agar E6011
- ❖ Soldadora portátil TEKNO 110v-220V
- ❖ Pulidora Angular de 4-1/2"
- ❖ Escuadra y graduador metálico.
- ❖ Compresor 24 litros.
- ❖ Tronzadora Dewalt 14"

- ❖ Pernos con tuercas M8, M10, M5
- ❖ Chumaceras ¾, 1”
- ❖ Plancha de Tool sin galvanizar de 1.5m x 2m
- ❖ Taladro Dewalt 900W
- ❖ Eje de ¾ Acero de transmisión. 80 cm
- ❖ Soldadora de Puntos portátil.
- ❖ BMS (Battery Management System)
- ❖ Cautín
- ❖ Tira de Níquel

3.2.2. Materiales de oficina.

- ❖ Laptop
- ❖ CD's
- ❖ Pendrive
- ❖ Carpetas
- ❖ Impresora EPSON
- ❖ Hojas A4
- ❖ Calculadora Casio
- ❖ Lápiz HB

3.2.3. Software

- ❖ ProfiCad
- ❖ SolidWorks
- ❖ Microsoft Word 2019

3.3. Tipo de investigación

3.3.1. Investigación experimental.

Se realizará una investigación experimental, con el afán de lograr plasmar mediante el diseño y la construcción, que un vehículo de prestaciones especiales con propulsor eléctrico,

3.4. Métodos de investigación.

3.4.1. Método científico.

Se aplicará el método científico en la investigación, basándose en vehículos ya contruidos por grandes corporaciones en el extranjero, y con esta aplicación se realizará un trabajo riguroso y de forma ordenada en base a la información recabada.

3.5. Diseño de la investigación.

3.5.1. Diseño Experimental.

El diseño de este trabajo es del tipo experimental porque se construirá un vehículo con prestaciones especiales adaptándole un sistema de tren propulsor eléctrico, este se dará para comprobar que con el pasar del tiempo los vehículos eléctricos estarán en un gran apogeo y de esta forma contribuir con el medio ambiente disminuyendo los gases que expulsan este tipo de vehículos cuando poseen un motor de combustión interna.

3.6. Diseño del chasis

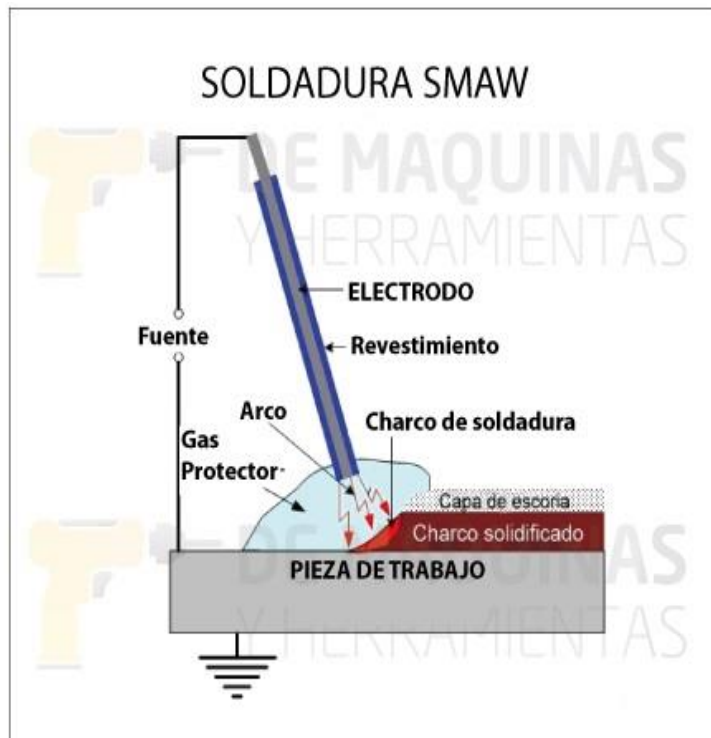
3.6.1.1. Soldadura.

El proceso de soldadura consiste en la unión de dos piezas metálicas por medio de un material base, actualmente hay algunos tipos de soldadura entre los más comunes está el proceso de soldadura SMAW. [29]

3.6.1.2. Proceso de soldadura SMAW.

Esta soldadura usa como material base un electrodo en forma de varilla, consumible y revestido. El electrodo está formado por dos partes estas son: un núcleo metálico y un revestimiento cerámico el cual se obtiene por extrusión. Durante el proceso de soldadura el electrodo tiende a fundirse junto con el metal y de esta forma se unen dos metales o se rellena alguna imperfección. [30]

Figura 12 Soldadura SMAW



Fuente: <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-smaw-que-es-y-procedimiento>

Ventajas.

- ❖ Bajo costo
- ❖ Proceso simple
- ❖ De fácil movilidad
- ❖ Uso en exterior
- ❖ Facilidad de soldar la mayoría de metales ferrosos y no ferrosos

Limitaciones.

- ❖ El rendimiento del electrodo revestido (60%) es menor que el alambre macizo del proceso Mig-Mag (95%).
- ❖ Requiere de mucha habilidad del soldador
- ❖ Electrodo consumible
- ❖ Exceso de chisporroteo.

3.6.1.3. Electrodo 6011

Este electrodo posee un revestimiento celulósico y está diseñado para trabajar con corriente alterna, aunque también puede trabajar con corriente continua, electrodo positivo. Al solidificarse de manera rápida es idóneo para soldar en posición vertical y sobre cabeza. Es apto para ser utilizado en todas las aplicaciones de soldadura en acero dulce y en trabajos donde se requiera de alta penetración. Es utilizado en aplicaciones tales como: cañería de oleoducto, reparaciones generales, estructuras y planchas galvanizadas; con respecto a su composición química este posee: Carbono (C)-15%, Manganeso (Mn)-55%, Silicio (Si)-35%, Fosforo (P)-0,010%, Azufre (S)-0,017%. [31]

Tabla 1 Características del electrodo 6011

Resultados de prueba de tracción con probetas de metal de aporte	Requerimientos	Energía	
		absorbida	Requerimientos
		Ch-v	
Resistencia a la tracción:	430 MPa	34J a- 30 °C	27J a- 30 °C
495MPa	330 MPa		
Límite de fluencia: 424MPa	22%		
Alargamiento en 50mm: 27%			

Fuente: AWS: A5.1/A5.1M-04

Elaborado: Sánchez Angulo Rubén, Yépez Cerruffo Richard.

3.6.2. Características de la estructura.

Se detallarán las especificaciones que tendrá este vehículo, poniendo atención a aquellas partes importantes del diseño, se analizarán las dimensiones del vehículo y la distribución del peso que tendrá. El modelo de la estructura y sus dimensiones a elaborar es de creación propia de los autores de este proyecto, diseñado para transitar en las calles o el campo de la ciudad de Quevedo, el vehículo no participará en competición.

3.6.2.1. Parámetros de diseño.

Para el proceso de diseño y posterior la construcción, se deben tener en cuenta parámetros para ejecutar estas dos acciones de una manera eficaz. Para realizar el diseño del chasis se usará la norma F.A.U (capítulo 3), esta norma indica cómo se deben llevar a cabo las

acciones para diseñar un chasis tubular estableciendo condiciones de seguridad y confiabilidad para el piloto y su acompañante. [30]

3.6.2.2. Dimensiones generales del vehículo tipo Buggy.

Las dimensiones estipuladas para el vehículo se expresan mediante en la tabla 2.

Tabla 2 Dimensiones del vehículo.

Características	(mm)
Longitud	2654
Altura	1200
Ancho	1080
Longitud entre ejes	1950

Fuente: Software CAD Solidworks

Elaborado: Sánchez Angulo Ruben, Yépez Cerruffo Richard

3.6.2.3. Distribución de pesos.

En la tabla 3 se encontrará de manera detallada los pesos correspondientes al vehículo.

Tabla 3 Distribución de pesos.

Ocupantes	150kg
Motor	10kg
Controlador	0.5kg
Batería	4kg
Asientos	8kg
Chasis	51.46kg
Neumáticos	16kg
Amortiguadores	6kg
Total	246kg

Fuente: Los autores

Elaborado: Sánchez Angulo Ruben, Yépez Cerruffo Richard

Para determinar el peso neto del chasis se usa el Anexo 3, mismo que especifica un peso de 47.3kg al que se le sumará un factor de 10% del total del peso por razón de la soldadura.

3.6.2.4. Material para la construcción.

La elección del material para la construcción de la estructura y los brazos de suspensión, depende de las propiedades mecánicas, propiedades metalúrgicas, soldabilidad, costos y

accesibilidad que tenga el material. Basándose en la norma FAU capítulo 3-sección 3.3.3.1, establece que para la construcción del chasis de un vehículo Buggy, es esencial realizarlo con un acero estructural negro con un porcentaje de carbono mínimo de 0,10%. Por lo tanto, para la construcción del vehículo de esta investigación se usará acero ASTM A36, cumpliéndose los requerimientos de la norma FAU.

El acero ASTM A36, es un acero muy comercial, con buenas propiedades tanto como su soldabilidad, límite elástico muy elevado, muy buena maquinabilidad, poco maleable, etc. [34]

Este material es utilizado para la construcción de la estructura de los puentes y algunas partes de automóviles. [35]

Tabla 4 Propiedades del Acero.

Propiedades	Valor	Unidades
Modulo elástico	2e + 11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0,26	N/D
Modulo cortante	7.93e+10	N/m ²
Densidad de masa	7850	Kg/m ³
Límite de tracción	400000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Limite elástico	2500000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica		/k
Conductividad térmica		W/(m.k)

Fuente: Solidworks 2018

Elaborado: Sánchez Angulo Ruben, Yépez Cerruffo Richard.

3.7. Análisis estructural del chasis.

3.7.1. Método de elementos finitos (MEF).

El análisis por método de elementos finitos trata de pronosticar el comportamiento de un objeto en la vida real y cotidiana ante un conjunto de acciones ya sean estos la fuerza que se aplica, el peso que este soportaría el Buggy, las temperaturas que pueden afectar, etc [32].

Este método consiste en discretizar una región del objeto mediante un conjunto de nodos enlazados entre sí mediante figuras geotérmicas llamadas elementos finitos. Así las propiedades del material y las ecuaciones que se expresan en el objeto serían constitutivas y arrojarían valores reales, considerando las propiedades que posee el material.

Este análisis comprende tres etapas:

- ❖ **Pre-proceso:** En esta etapa se construye el elemento y se consideran las propiedades que tenga el material del que está hecho el elemento, se consideran cargas, desplazamiento, restricciones y se genera las condiciones del elemento finito a utilizar (mallado). [32]
- ❖ **Resolución:** en esta etapa ya se expresan los valores numéricos que se dan según el análisis a realizar, tomando en cuenta los parámetros ya establecidos y dando a conocer que comportamiento toma el elemento según su análisis. [32]
- ❖ **Pos-proceso:** en esta etapa solo se visualiza el comportamiento del elemento.

3.7.2. Análisis Estático.

Este análisis se realizará para determinar el comportamiento del elemento cuando a este se le aplique cargas externas que permanecen constante. Con esto se obtendrán valores de deformación, esfuerzos, desplazamiento y la fuerza de reacción del elemento cuando se apliquen dichas cargas. [32]

Capítulo IV

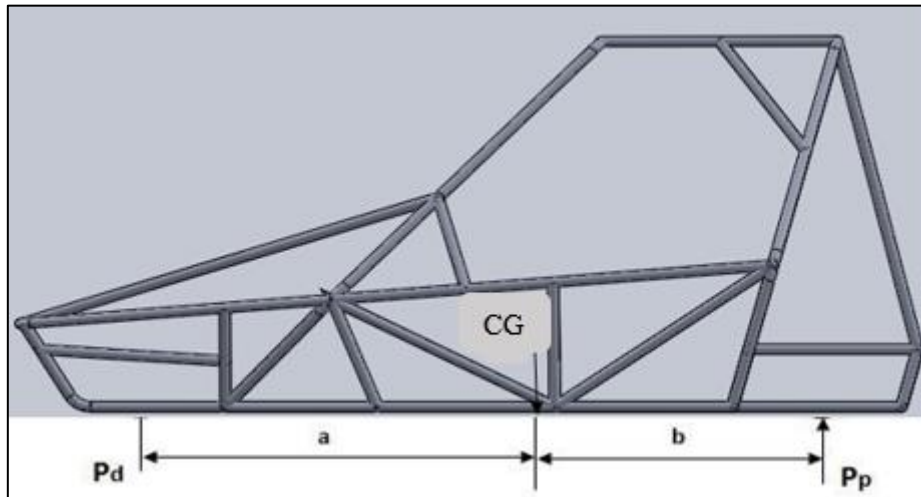
Resultado y discusión.

4.1. Cálculos analíticos de la estructura.

4.1.1. Centro de gravedad del vehículo.

El centro de gravedad del vehículo se calcula mediante el peso total del chasis y el peso sobre cada uno de los ejes, (P_d): eje delantero y (P_p): eje posterior. Por medio del libro [34], se obtendrán las ecuaciones (2), (3) y (4).

Figura 13 Centro de gravedad



Fuente: Los Autores

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

$$P_d * (a + b) = P * d \quad (2)$$

$$a + b = L = \text{Longitud entre ejes} \quad (3)$$

$$P_d = P * \frac{b}{L} \quad P_p = P * \frac{a}{L} \quad (4)$$

Donde:

P: peso total

P_d : peso de eje delantero

P_p : peso de eje posterior

a: distancia entre Pd y P

b: distancia entre Pp y P

L: distancia entre ejes

Para conocer la altura entre el suelo y el centro de gravedad se usará la ecuación (5)

$$H = \frac{P(Rn(\tan\alpha) + b) - Pp(a + b)}{P * \tan\alpha} \quad (5)$$

Donde:

Rn: radio del aro de los neumáticos.

α : ángulo de inclinación de la carrocería.

Al conocer que la mayor carga del vehículo se encontrará en la parte posterior se tomará por consecuencia un reparto de pesos:

- ❖ Peso delantero 45%
- ❖ Peso posterior 55%

Conociendo que el peso total del vehículo es de 246 kg el cual se expresa en la tabla 3, de este modo la distribución de carga quedara:

- ❖ Peso de eje delantero (Pd)= 110.75 kg
- ❖ Peso de eje posterior (Pp)= 144.3 kg

Utilizando las ecuaciones (3) y (4) se obtendrán los valores de a y b:

$$a = \frac{Pp * L}{P} = \frac{144.3kg * 1.95m}{246kg}$$

$$a = 1.07m$$

$$b = \frac{Pd * L}{P} = \frac{110.7kg * 1.95m}{246kg}$$

$$b = 0.878m$$

Después de haber hallado los valores de a y b, se podrá encontrar el valor de la altura del centro de gravedad mediante la ecuación (5), se considera un ángulo de inclinación tentativo del vehículo de 20°:

$$H = \frac{246kg(0.12m(\tan 20^\circ) + 0.87m) - 144.3kg(1.95m)}{246kg * \tan 20^\circ}$$

$$H = 0.21m$$

4.1.2. Cargas del diseño.

Para realizar cálculos de esfuerzos máximos, es necesario conocer las cargas que se aplican en la estructura, estas cargas son:

- ❖ Carga viva
- ❖ Carga muerta
- ❖ Carga de diseño
- ❖ Carga de viento
- ❖ Carga de seguridad

4.1.2.1. Carga de seguridad.

Para conocer la carga de seguridad que tendrá la estructura, se efectuará la ecuación (6).

$$Cs = 20 \frac{kg}{m^2} * Ah \quad (6)$$

Donde:

Ah: área de carga del vehículo

Según el Colegio de Ingenieros Mecánicos de Pichincha recomiendan usar un valor de $20 \frac{kg}{m^2}$ como carga de seguridad adicional para estructuras metálicas convencionales.

$$Cs = 20 \frac{kg}{m^2} * (1.8m * 1.08m)$$

$$Cs = 39kg$$

4.1.2.2. Carga muerta

Es la carga que se mantiene constantemente en la estructura del vehículo, ya que depende de la suma entre la carga de seguridad y la carga de la estructura sin considerar el peso de los ocupantes.

$$Cm = Pe + Cs \quad (7)$$

Donde:

Pe: peso constante de la estructura.

$$Cm = 96kg + 39kg$$

$$Cm = 135kg$$

4.1.2.3. Carga viva

Esta carga es variante debido a la ocupación que tendrá el vehículo por tal motivo se multiplica por un factor de sobrepeso del 10% más el peso de los ocupantes.

$$Cv = Po + Po * 10\% \quad (8)$$

Donde:

Po: peso de los ocupantes.

$$Cv = 150kg + 150kg * 0.1$$

$$Cv = 165kg$$

4.1.2.4. Carga de viento.

Esta carga es conocida como la resistencia aerodinámica que se opone al movimiento de cualquier objeto en la atmosfera, esta resistencia por lo general actúa con el cuadro de velocidad, por lo que en vehículos u objetos con velocidades bajas es poco importante, siendo el caso que a velocidades elevadas se convierte en la resistencia más importante a veces.

Siendo su fórmula:

$$Fa = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot Cd \cdot v^2 \quad (9)$$

Donde:

F_a = Fuerza Aerodinámica.

ρ = Densidad del aire.

A = Área frontal

C_d = Coeficiente de rozamiento aerodinámico.

V = Velocidad estimada. $(30 \frac{Km}{h})$

Por lo tanto, en consideración a la estructura del vehículo a construir el área frontal queda en función del ancho por la altura.

Tomando los datos de la tabla 2, el área frontal quedara:

$$A = 1200mm * 1080mm * 0.8$$

$$A = 1.03m^2$$

La densidad del aire en la ciudad de Quevedo, ubicándose a 70 msnm, se estima en 1,225 kg/m³.

Para vehículos livianos se toma un coeficiente de rozamiento de 0,3 y para camiones se toma un factor de 0,8 y 1 si llevan cargas voluminosas. [35]

$$F_a = \frac{1}{2} (1.225 \text{ Kg}/m^3) \cdot (1.03 \text{ m}^2) \cdot (0.3) \cdot (8.33 \text{ m/s})^2$$

$$F_a = 13.13N \rightarrow 1.33kg$$

4.1.2.5. Carga de diseño.

Esta es la carga puntual que se tomara en cuenta para los análisis matemáticos que se realizara en el bastidor de la estructura.

$$Wd = Fa + Cv + Cm + Cs \quad (10)$$

$$Wd = 1.33kg + 165kg + 135kg + 39kg$$

$$Wd = 340.68kg$$

Para las ecuaciones del (6) al (10), se tomó como referencia la norma NTE INEN 1323.

4.1.2. Cálculo de esfuerzos.

Para conocer el momento máximo de la estructura se realizarán cálculos en el bastidor tomando este como una viga apoyada y sometiéndola a una carga distribuida utilizando la ecuación (11).

$$w = \frac{Wd}{L} \quad (11)$$

Donde:

w: carga distribuida

Wd: carga de diseño

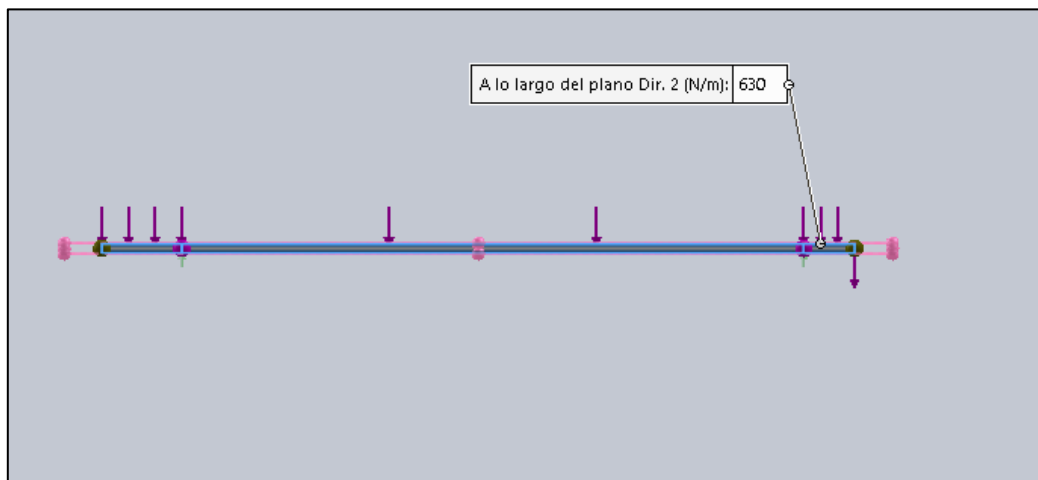
L: longitud entre ejes

$$w = \frac{340.68kg(9,8\frac{m}{s^2})}{2.65m}$$

$$w = 1259.8\frac{N}{m}$$

Al conocer que el bastidor cuenta con dos vigas apoyadas el valor de la carga distribuida será de $630\frac{N}{m}$, con esta carga se conocerá la fuerza cortante y el momento flector máximo del bastidor.

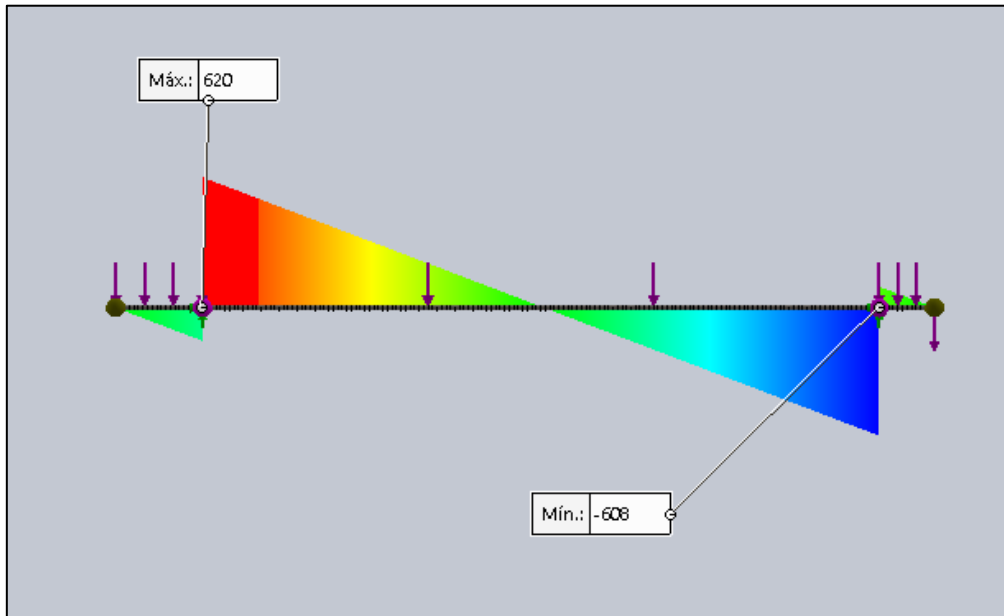
Figura 14 Análisis de viga.



Fuente: Software CAD SOLIDWORKS.

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

Figura 15 Diagrama de fuerza cortante.

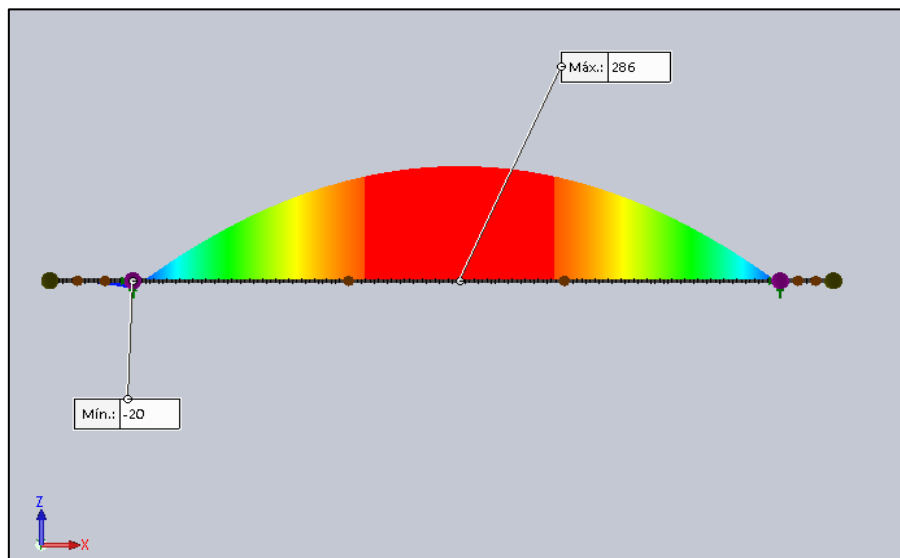


Fuente: Software CAD SOLIDWORKS

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

En la figura 15 se muestra que la fuerza cortante máxima que tendrá el bastidor con la carga aplicada, es de 620N.

Figura 16 Diagrama de momento flector.



Fuente: Software CAD SOLIDWORKS

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

Mediante la figura 16 se muestra que el momento flector máximo del bastidor es de $286 \frac{N}{m}$, con dicho momento se realizarán cálculos de esfuerzos máximos y se hallara el factor de seguridad de la estructura.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{S_{xx}} \quad (12)$$

Donde:

M_{max} : momento máximo

σ_{max} : esfuerzo máximo

S_{xx} : sección de inercia del material

Mediante la tabla 4, se conoce el límite de fluencia del material que es de 250MPa y por medio del Anexo 5 se establece la sección de inercia del material, tomando en cuenta el diámetro y espesor del mismo:

Tabla 5 Interpolación.

t (espesor, mm)	Sxx (cm ³)
1.25mm	1.29
1.50mm	X
1.60mm	1.65

Fuente: Tubos de acero sección circular, AISC.

$$\frac{1.61 - 1.29}{1.60 - 1.25} = \frac{x - 1.29}{1.50 - 1.25}$$

$$x = 1.51 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{max} = \frac{286 \frac{N}{m}}{1.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{max} = 190 \text{ MPa}$$

El esfuerzo máximo del bastidor es 190MPa, este es un valor por debajo del límite de fluencia de 250MPa que pertenece al acero en uso.

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{250MPa}{190MPa} \quad (13)$$

$$FS = 1.31$$

Al conocer que el factor de seguridad del bastidor donde se mantendrá la mayor parte de cargas del vehículo, correspondiente a 1.31, indica que está dentro del parámetro establecido mediante el Anexo 8, la construcción de la estructura del vehículo con el acero ASTM A36 soportará la carga de los ocupantes, componentes y la que se ejerce por factores externos.

4.2. Simulación y Análisis

4.2.1. Criterio de VON MISES.

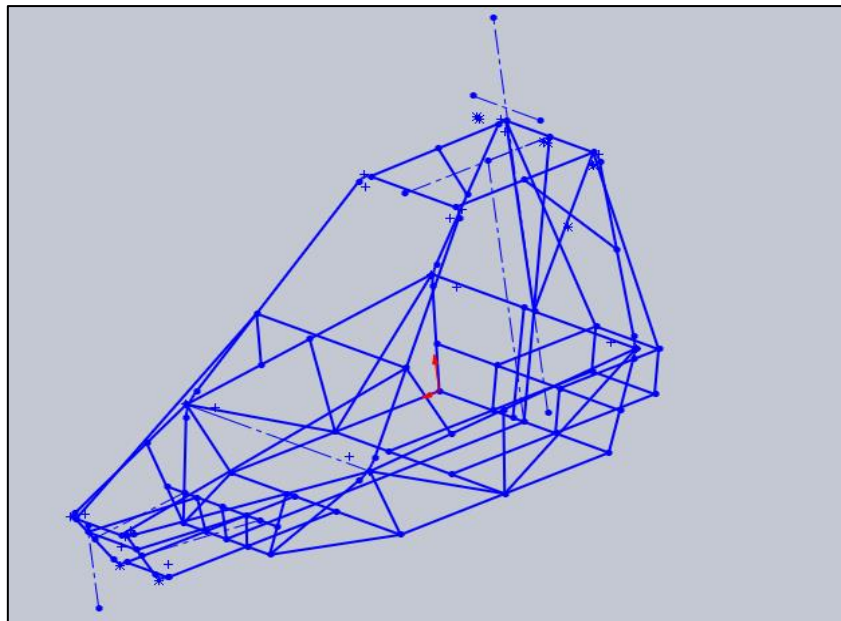
Este criterio es utilizado para verificar si el diseño soportará las cargas aplicadas. Es un indicador de que el diseño está correctamente realizado y que el material es el indicado.

Este criterio es para comprobar las fallas que podrían surgir al tener un material dúctil y cuáles serían las magnitudes del material al realizarles un ensayo de tracción. [38]

4.2.2. Diseño en el software CAD SOLIDWORKS

Por medio del software CAD SOLIDWORKS se realiza el trazado del diseño para establecer medidas y dimensionamiento de la estructura del vehículo.

Figura 17 Croquizado de la estructura.



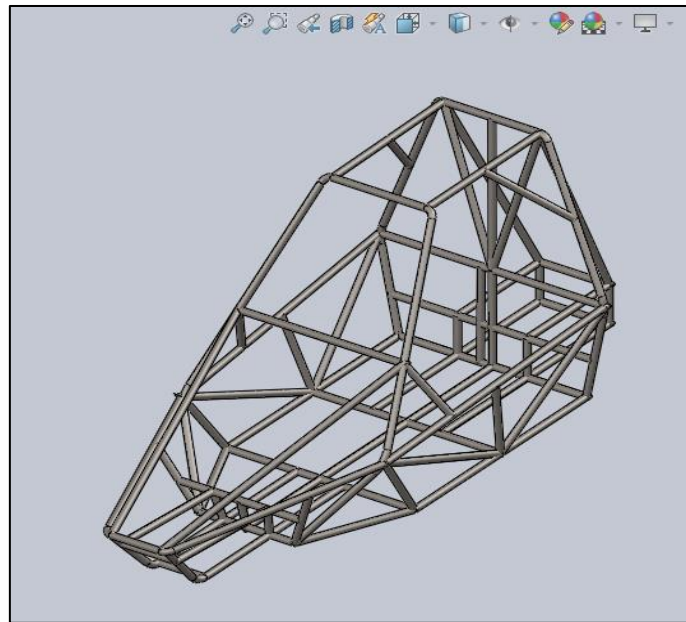
Fuente: Software CAD SOLIDWORKS

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

4.2.3. Miembro Estructural

Después de realizar el croquis del chasis, se procede a colocar un perfil estructural, al determinar que se usarán tubos redondos de acero ASTM A36, el software CAD SOLIDWORKS cuenta con este perfil y da un modelado real para su análisis.

Figura 18 Modelo de la estructura



Fuente: Software CAD SOLIDWORKS

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

4.3. Análisis estructural.

4.3.1. Aplicación de carga.

Según la norma FAU en su capítulo 3 numeral 3.3.10, establece los parámetros de cargas a ejecutarse un análisis estático al chasis de un buggy, mismas que establecen lo siguiente:

- ❖ Dos veces su peso lateralmente (2P)
- ❖ Seis veces su peso longitudinalmente por ambos perfiles (6P)
- ❖ Ocho veces su peso verticalmente (8P)

El vehículo no participará en competencias por lo cual se establecerán las cargas determinadas mediante el trabajo de **(DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO BIPLAZA DE ESTRUCTURA TUBULAR CON MOTOR MONO**

CILÍNDRICO YAMAHA YFM 200; Pagina-43), las cargas consideradas son las siguientes:

- ❖ 1.5 veces su peso lateralmente (1.5P)
- ❖ 3 veces su peso longitudinalmente por ambos perfiles (3P)
- ❖ 4 veces su peso verticalmente (4P)

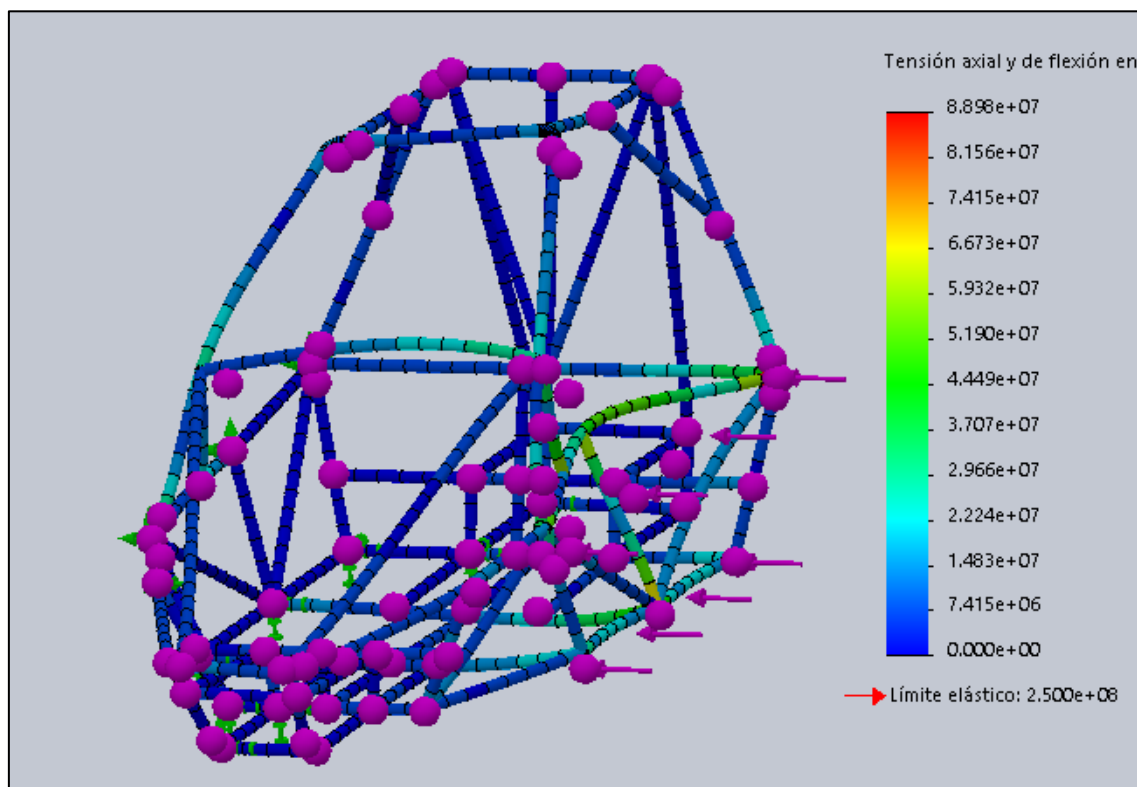
4.3.1.1. Estudios a realizar

Utilizando el peso total de la estructura especificado mediante la tabla 3, se realizarán estudios de tensiones máximas, desplazamiento y factor de seguridad que tendrá la estructura en los diferentes casos de análisis.

4.3.1.2. Carga lateral.

El análisis para la carga lateral se tomará en consideración el peso total multiplicado por la gravedad y por un factor de 1.5.

Figura 19 Esfuerzo máximo lateral

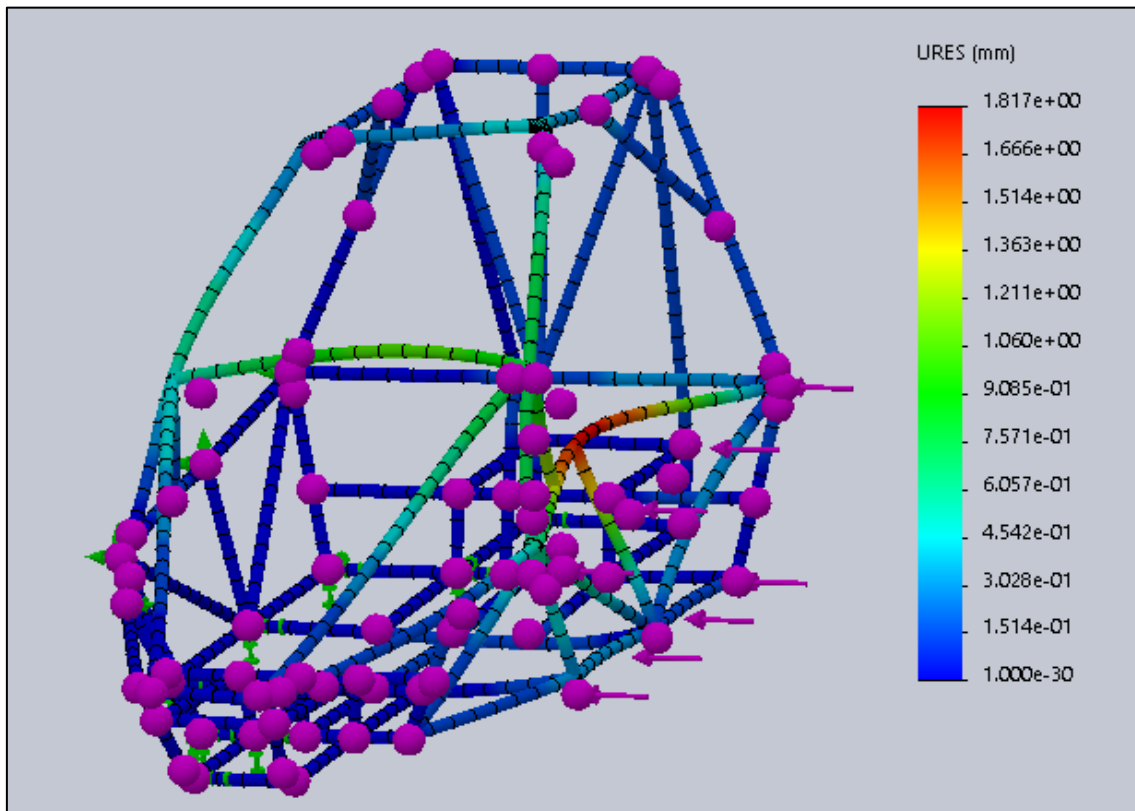


Fuente: Software CAD SOLIDWORKS

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

Aplicando una fuerza de 3616.2N se obtuvieron los resultados mencionados en la figura 19, donde se expresa que el valor del esfuerzo máximo es de 88MPa y este no supera al esfuerzo de cedencia del material que es de 250MPa.

Figura 20 Desplazamiento máximo lateral

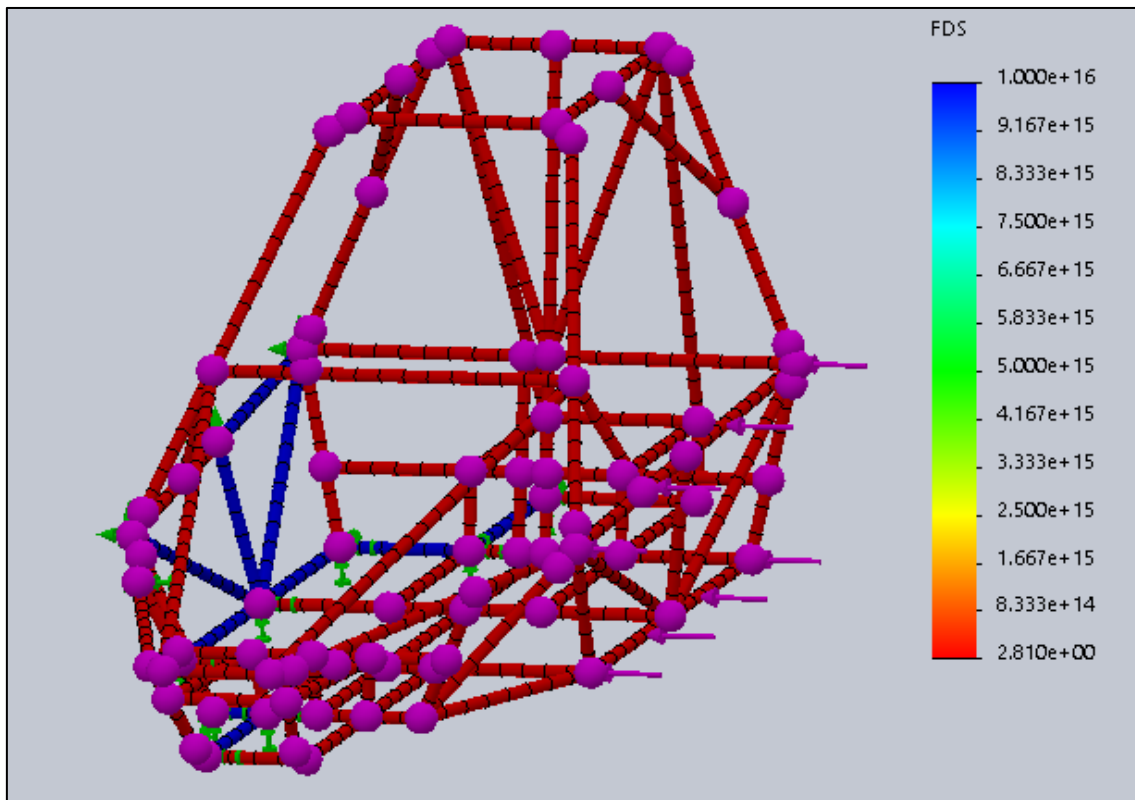


Fuente: Software CAD SOLIDWORKS

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

Como se observa en la figura 20, se determina que el desplazamiento máximo generado por una fuerza de 3616.2N, es de 1.8 mm lo que no afectará significativamente a la estructura.

Figura 21 Factor de seguridad lateral



Fuente: Software CAD SOLIDWORKS

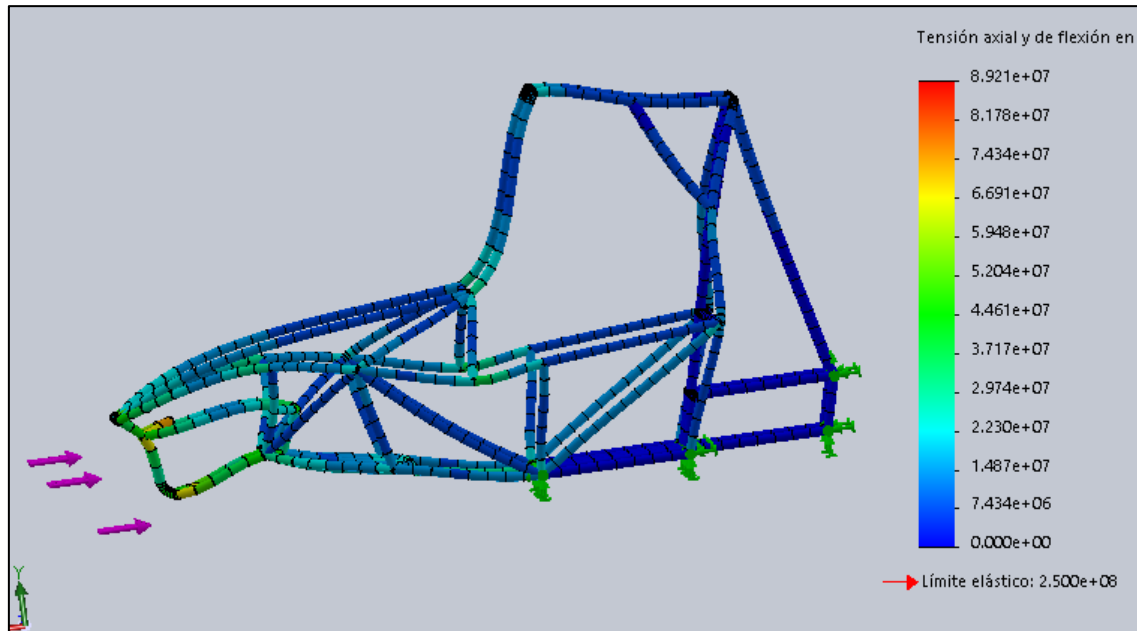
Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

El factor de seguridad del análisis realizado se expresa por la figura 21, que al ser un valor de 2.8, la estructura soportará 1.5 veces el peso del vehículo con sus ocupantes, en caso de recibir un impacto lateral.

4.3.1.3. Carga frontal.

Para comprobar si la estructura es capaz de soportar impactos frontales se establece una carga tres veces más elevada que su peso total.

Figura 22 Esfuerzo máximo frontal

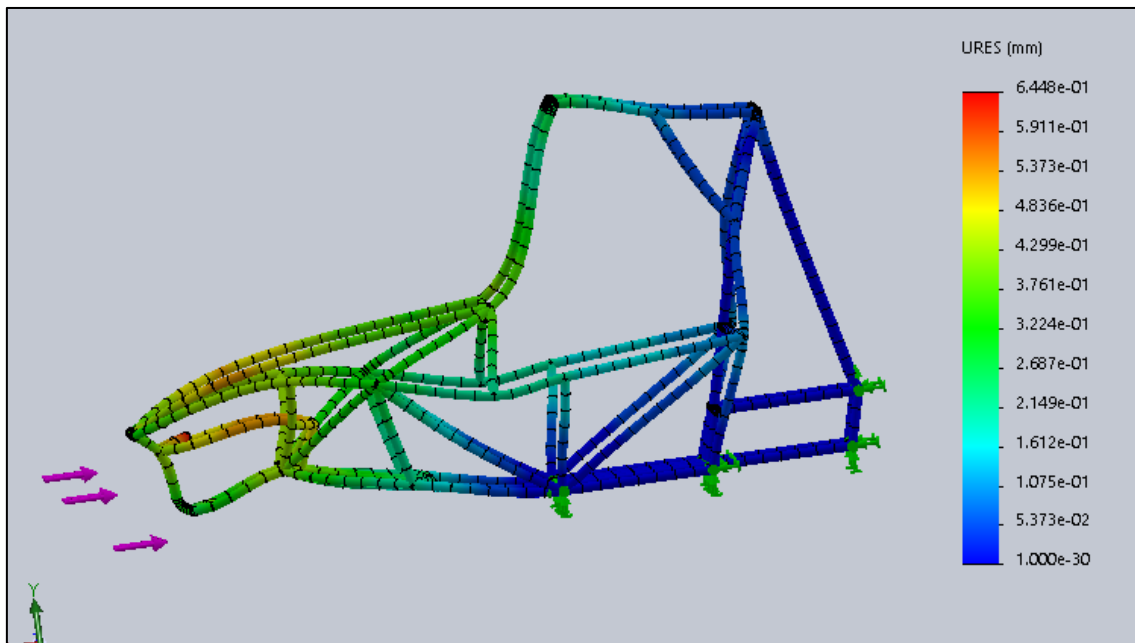


Fuente: Software CAD SOLIDWORKS

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

Al aplicar tres veces más la carga que tendrá el vehículo dada por el peso de la estructura y los ocupantes (7232N), el valor del esfuerzo máximo será de 89MPa, que se expresa mediante la figura 22 y este resultado se mantiene por debajo del límite de cedencia de la estructura usando el material seleccionado.

Figura 23 Desplazamiento máximo frontal.

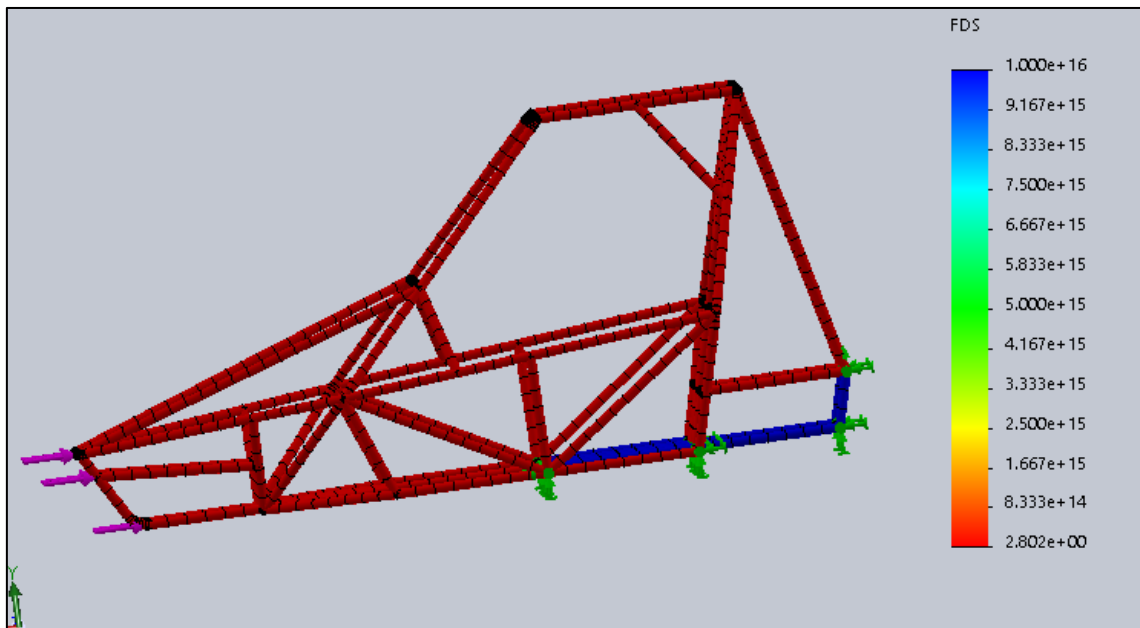


Fuente: Software CAD SOLIDWORKS

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

El desplazamiento de la estructura será de 64 mm, al soportar la carga frontal de 7232N, este desplazamiento no afectará de gran medida a la estructura en caso de sufrir un impacto de manera frontal.

Figura 24 Factor de seguridad frontal



Fuente: Software CAD SOLIDWORKS

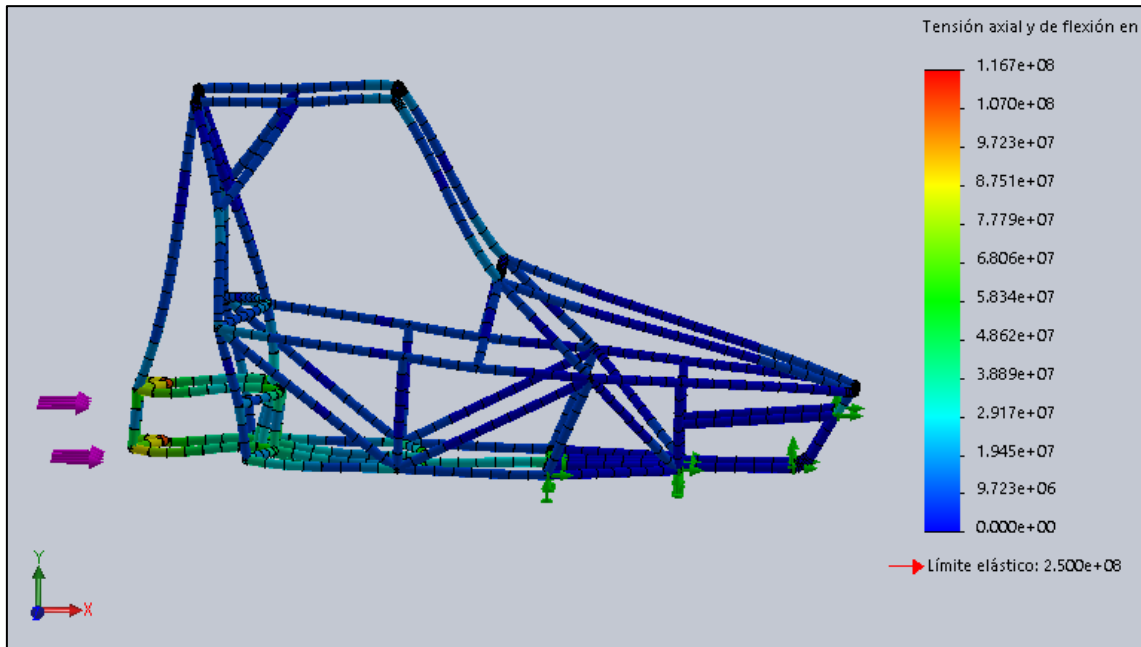
Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

Con un factor de seguridad de 2.8 indicado en la figura 24, se considera que la estructura soportará tres veces más la carga del vehículo con sus ocupantes, si se produce un impacto frontal.

4.3.1.4. Carga posterior.

De la misma forma que se realizó un análisis frontal, se lo hará en la parte posterior del vehículo.

Figura 25 Esfuerzo máximo posterior.

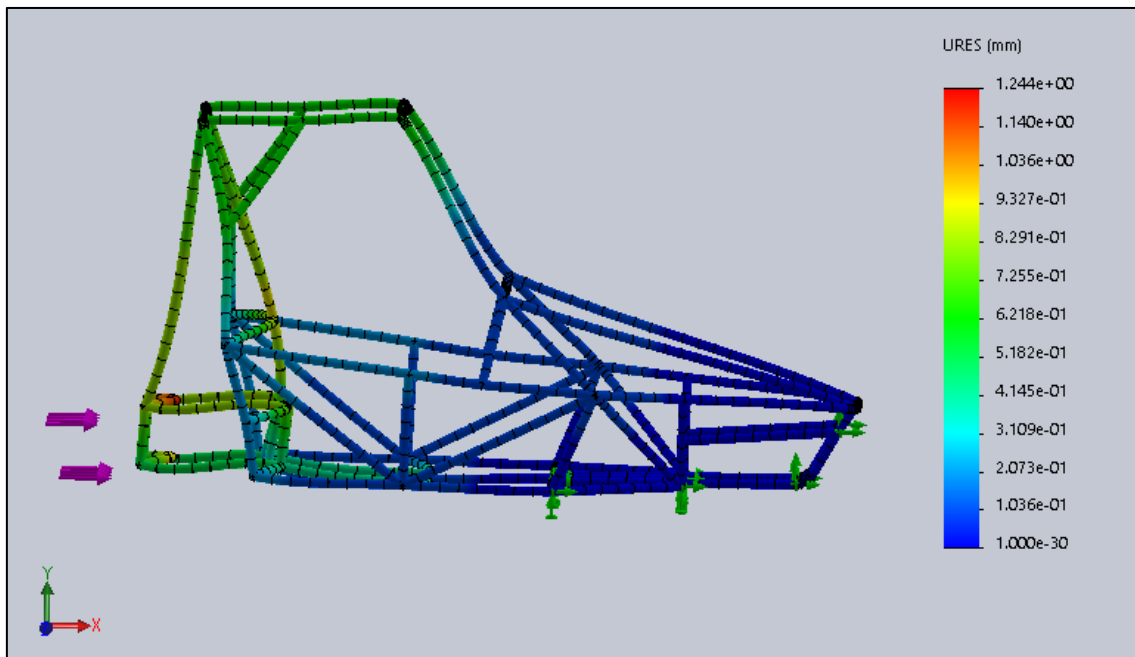


Fuente: Software CAD SOLIDWORKS

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

Por medio de la figura 25, se comprobó que al aplicar una fuerza de 7232N se visualiza un esfuerzo máximo de 116MPa, este esfuerzo es mayor al que se genera en la parte frontal debido al área de impacto.

Figura 26 Desplazamiento máximo posterior.

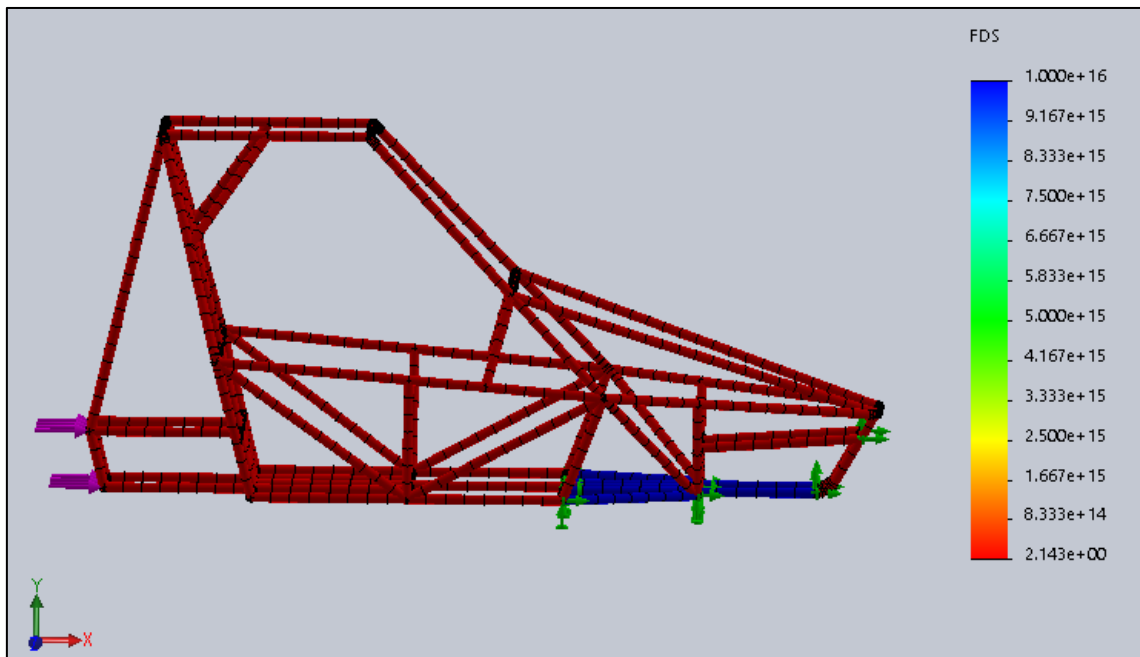


Fuente: Software CAD SOLIDWORKS

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

En la figura 26 se reconoce que el desplazamiento máximo de la estructura es de 1.25 mm, este desplazamiento no representa ninguna alteración en el diseño de la estructura y se podrá seguir con los demás análisis.

Figura 27 Factor de seguridad posterior.



Fuente: Software CAD SOLIDWORKS

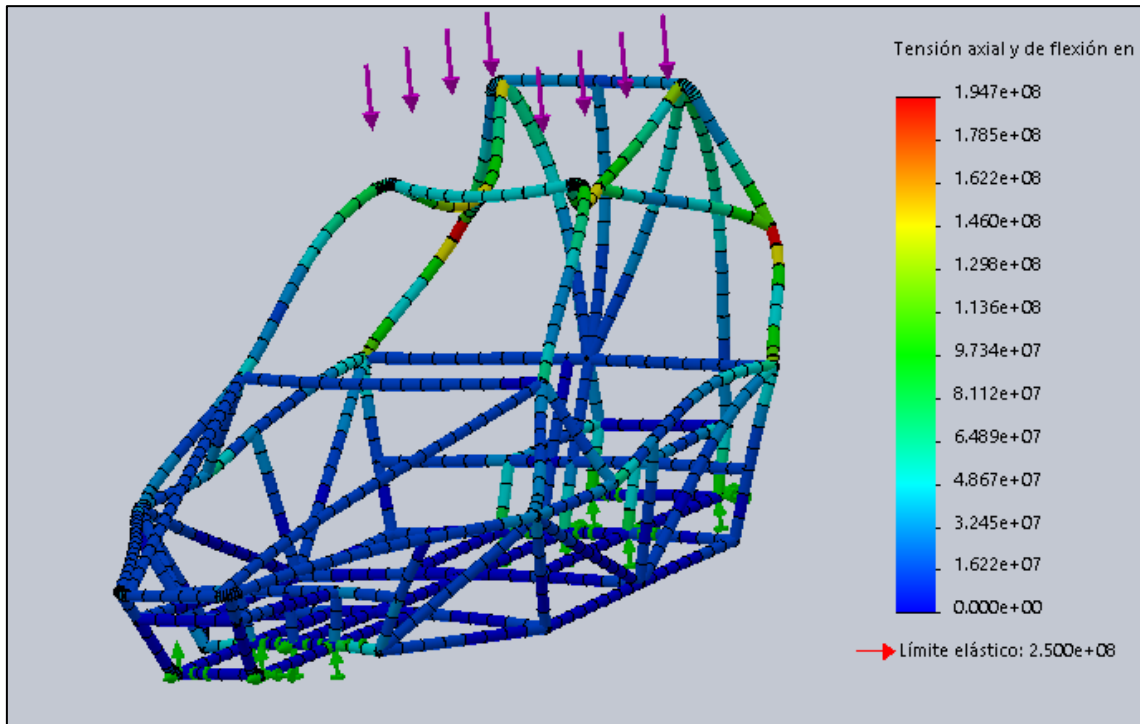
Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

En la figura 27, se observa que el factor de seguridad, aplicándole una carga posterior al vehículo, es de 2.1, es decir, la estructura soportará tres veces más la carga del vehículo y sus ocupantes en caso de un impacto posterior.

4.3.1.5. Carga vertical.

Para realizar el análisis vertical se establece una fuerza de 9996N el valor de esta fuerza se encuentra al multiplicar por cuatro el peso total del vehículo.

Figura 28 Esfuerzo máximo vertical.

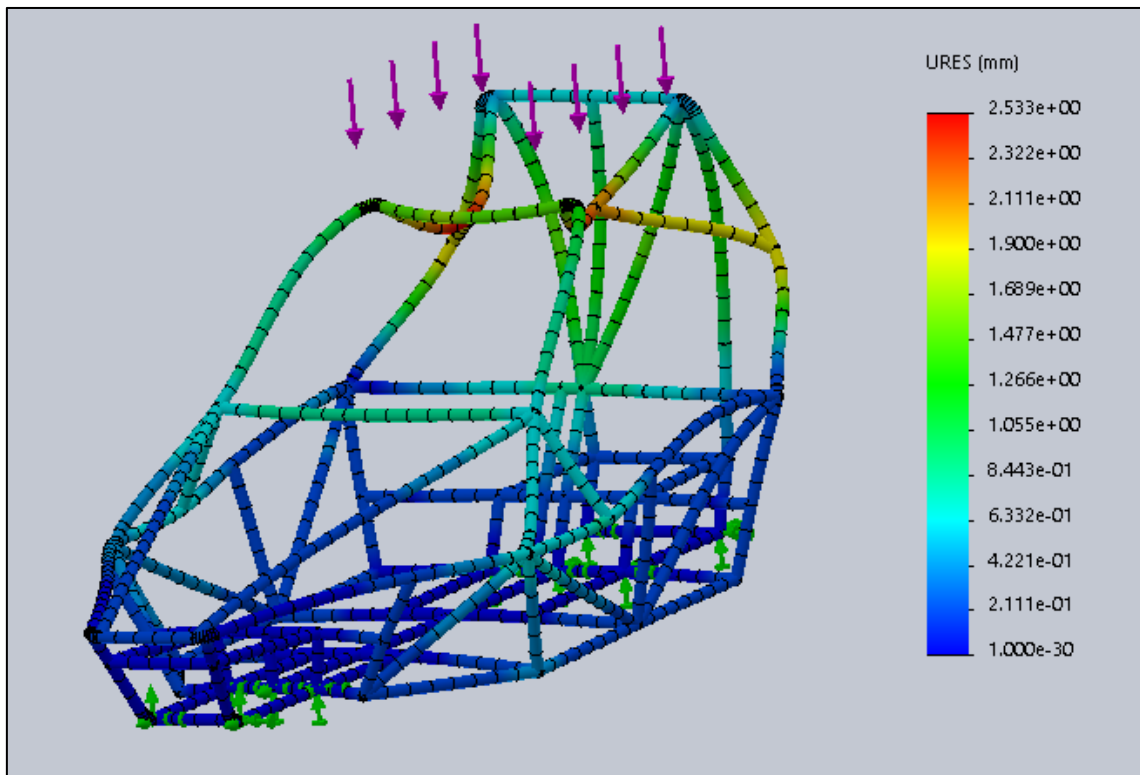


Fuente: Software CAD SOLIDWORKS

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

El análisis comprende un esfuerzo máximo de 234 MPa expresado mediante la figura 28 este esfuerzo no supera el límite de fluencia del material que es de 250 MPa, pero se denota que no existe una gran diferencia de un esfuerzo en comparación con el otro.

Figura 29 Desplazamiento máximo vertical.

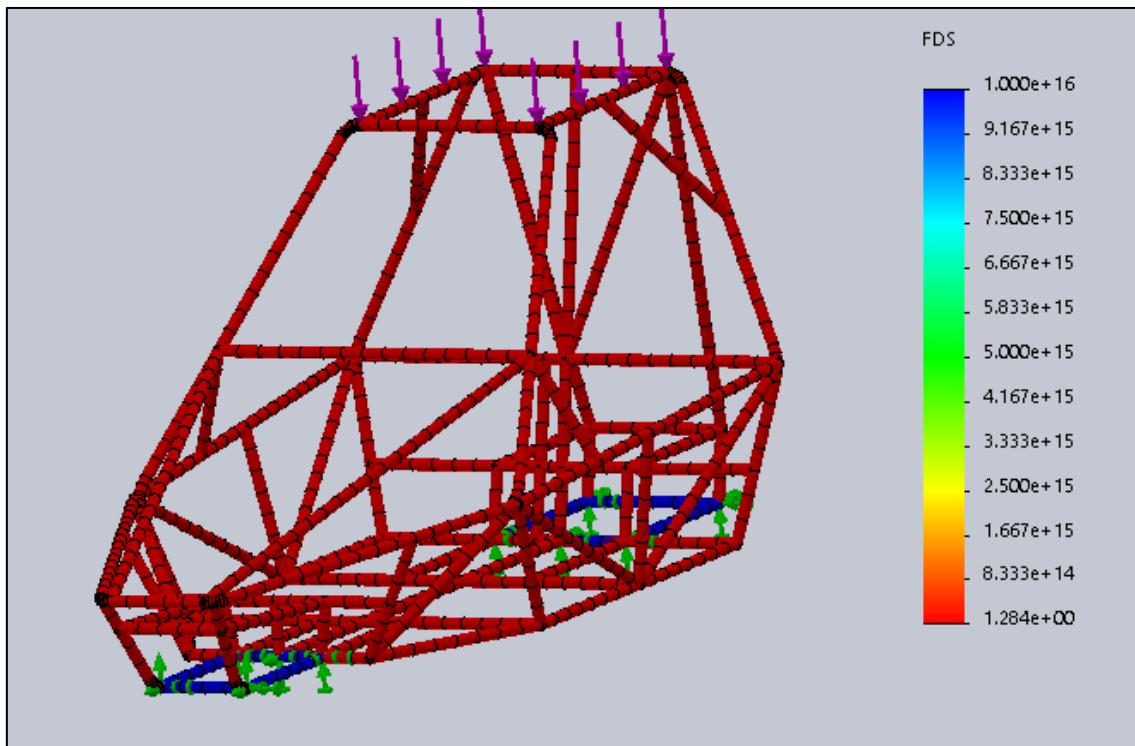


Fuente: Software CAD SOLIDWORKS

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

El desplazamiento máximo de la estructura será de 2.5 mm, indicada mediante la figura 29, lo cual establece que no afectará de gran medida al aplicársele una carga de 9996N y la estructura diseñada soportará impactos verticales.

Figura 30 Factor de seguridad vertical.



Fuente: Software CAD SOLIDWORKS

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

Aplicando cuatro veces más la carga de la estructura y ocupantes, la figura 30 establece un factor de seguridad de 1.1, lo que indica que el vehículo soportará cuatro veces más un impacto vertical.

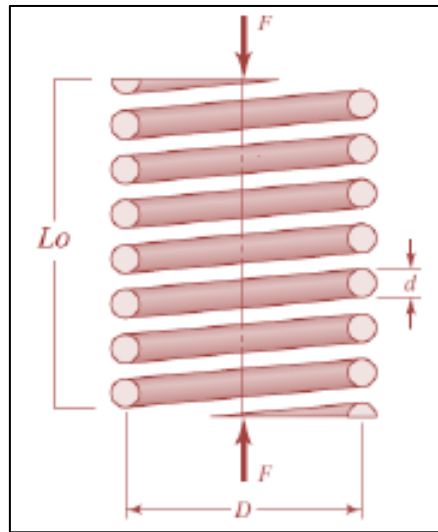
4.4. Cálculo del sistema de dirección.

Para realizar la construcción del vehículo se necesita saber los esfuerzos que tendrá el sistema de dirección comprendido por el sistema de freno, suspensión y neumáticos.

4.4.1. Cálculo de la suspensión

Para conocer si la suspensión adquirida para el chasis, es óptima, se realizarán los siguientes cálculos, tomando en cuenta la distribución de peso que tendrá la parte delantera y la parte posterior del vehículo.

Figura 31 Parámetros del resorte.



Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley.

Para todo el sistema de suspensión se adquirieron la misma clase de amortiguadores, por lo tanto, las especificaciones presentadas en la tabla 7 será para todo el sistema.

Tabla 6 Propiedades del amortiguador.

Símbolo	Valor	Denominación
D	60mm	Diámetro del amortiguador
d	10mm	Diámetro del alambre
L_o	200mm	Longitud del alambre (sin deformar)
Pd	140kg(1371N)	Peso delantero
Na	11	Numero de espiras
G	$7.84 \times 10^{10} Pa$	Módulo de Rigidez, Anexo 7
τ_{max}	$490 \times 10^6 Pa$	Esfuerzo cortante, Anexo 7.

Fuente: Máquinas herramientas Prontuario.

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

Índice de resorte:

$$Ci = \frac{De}{d} \quad (14)$$

Donde:

De: Diámetro medio del amortiguador

$$Ci = \frac{60mm}{10mm}$$

$$Ci = 6$$

Factor cortante:

$$Ks = 1 + \frac{1}{2Ci} \quad (15)$$

$$Ks = 1 + \frac{1}{2 * 6}$$

$$Ks = 1.08$$

Fuerza admisible del resorte:

$$F = \frac{\pi * d^3 * \tau_{max}}{8De} * \frac{1}{Ks} \quad (16)$$

$$F = \frac{\pi * (0.01m)^3 * 490x10^6Pa}{8 * 0.03} * \frac{1}{1.08}$$

$$Fd = 5938N$$

El valor de la fuerza admisible del resorte resulta ser mayor que el valor de la carga en la parte delantera del vehículo que es de 1085N y la parte posterior de 1414.14N, lo que quiere decir que el amortiguador resistirá.

Constante del resorte:

$$K = \frac{d^4 * G}{8 * De^3 * Na} \quad (17)$$

$$K = \frac{(0.01m)^4 * 7.84x10^{10}Pa}{8 * (0.06m)^3 * 11}$$

$$Kd = 42245 \frac{N}{m}$$

Deformación real del resorte:

$$yd = \frac{Pd}{Kd} \quad (18)$$

$$yd = \frac{1085N}{42245 \frac{N}{m}}$$

$$yd = 0.025m$$

Utilizando la ecuación (18) se determinará la deformación real del resorte en la parte posterior del vehículo:

$$yp = \frac{1414.14N}{42245 \frac{N}{m}}$$

$$yp = 0.033m$$

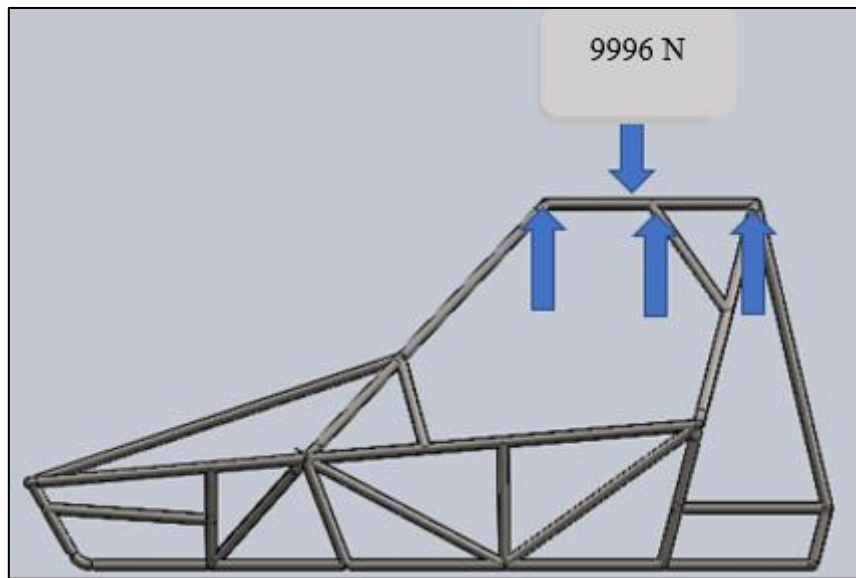
Al conocer la fuerza admisible y deformación que tendrá el resorte aplicándole las cargas respectivas tanto en la parte delantera como en la parte posterior y comprobar que estas cargas no afectarán de gran manera a la configuración del amortiguador, se indica que el amortiguador adquirido será el adecuado para el vehículo a construir.

4.5. Cálculo de soldadura.

El proceso de soldadura a ser aplicado es el SMAW con electrodo E6011 cuyas características se encuentran en la tabla 6 (límite de fluencia 424MPa y límite de tracción 495Mpa), se analizará el área donde se ejecutará la mayor carga que es de 9996N en la parte vertical del vehículo.

Para conocer la fuerza que se aplicará a la soldadura se realizará un análisis de cortante en la viga tal como muestra la figura 39

Figura 32 Ubicación de los puntos críticos.



Fuente: Software CAD SOLIDWORKS.

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

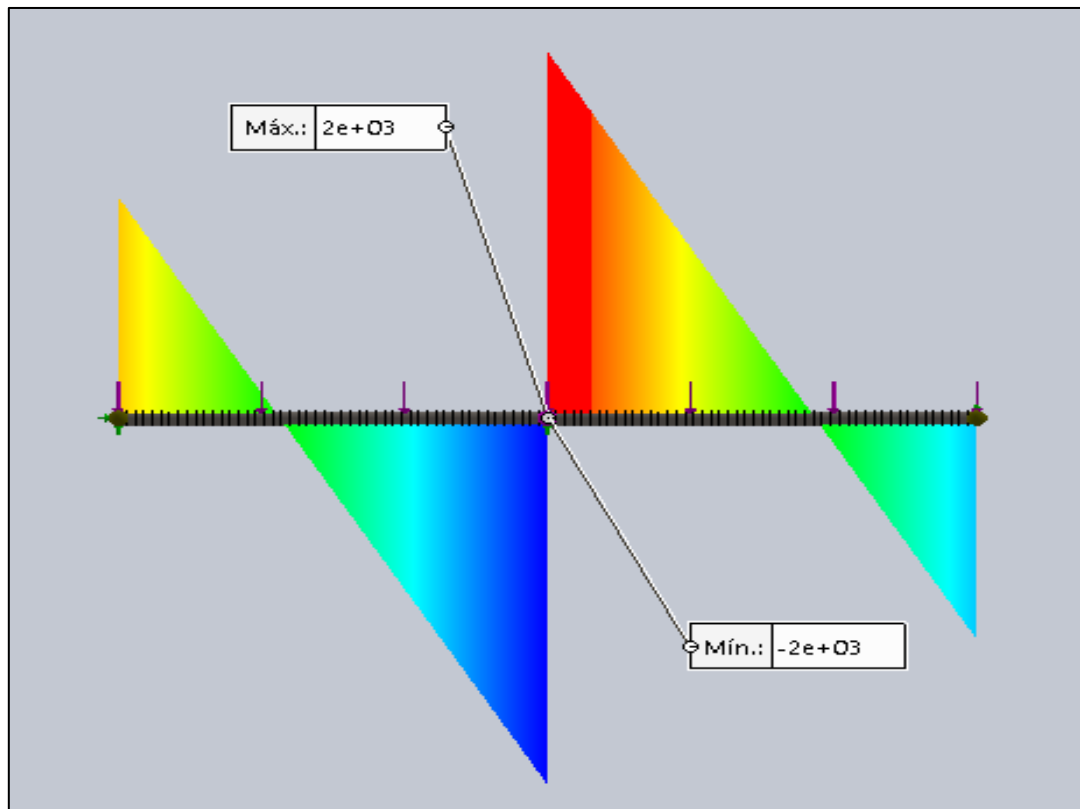
Figura 33 Diagrama de fuerzas en la viga.



Fuente: Software CAD SOLIDWORKS.

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

Figura 34 Diagrama de cortante máximo.



Fuente: Software CAD SOLIDWORKS.

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

Se realizará una soldadura tipo filete en la estructura, mediante el libro de **(Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley)**, el cual establece que la altura del cordón de soldadura no debe ser mayor que el espesor del material.

$$A_s = 1.414 * \pi * A_h * d \quad (19)$$

Donde:

A_s : Área de soldadura

A_h : Altura de soldadura

d : Diámetro del material

$$A_s = 1.414 * \pi * 1.5 \times 10^{-3} m * 1.9 \times 10^{-2} m$$

$$A_s = 1.266 \times 10^{-4} m^2$$

Por lo tanto, el esfuerzo máximo del cortante en el cordón será:

$$\tau_c = \frac{Fc}{As} \quad (20)$$

$$\tau_c = \frac{2000N}{1.266 \times 10^{-4} m^2}$$

$$\tau_c = 15 MPa$$

Conociendo el cortante se puede hallar el factor de seguridad de la soldadura:

$$\eta = \frac{0.4F_y}{\tau_c} \quad (21)$$

$$\eta = \frac{0.4 * 424 MPa}{15 MPa}$$

$$\eta = 11.3$$

El factor de seguridad de 11.3 indica que la altura del filete de la soldadura es la correcta, por lo que no excede el espesor máximo del material a unir y es capaz de soportar el esfuerzo a la que la junta está sometida. Conociendo el comportamiento de la soldadura en los puntos críticos, se establece que se puede aplicar en toda la estructura tubular

Para el cálculo de las ecuaciones del (14) al (21), se utilizó como referencia el libro **“Diseño en ingeniería mecánica de Shigley”**. [39]

4.6. Selección del motor.

Previo a la realización de los cálculos para determinar el motor, se deben considerar los siguientes aspectos del vehículo.

- ❖ Peso total del buggy.
- ❖ Velocidad deseada
- ❖ Porcentaje de pendiente
- ❖ Aceleración

Según Cassioli [40] un vehículo eléctrico debe ser capaz de subir pendientes de al menos 15%, para el caso particular de este buggy se considera la media de este valor, es decir, se plantea que el vehículo deberá subir pendientes ligeras de 5° equivalente 8.75%.

Tabla 7 Pendiente en grados vs porcentaje.

Pendiente en grados °	Pendiente en porcentaje %
1	1.74
3	5.24
5	8.75
7	12.28
8	14.05

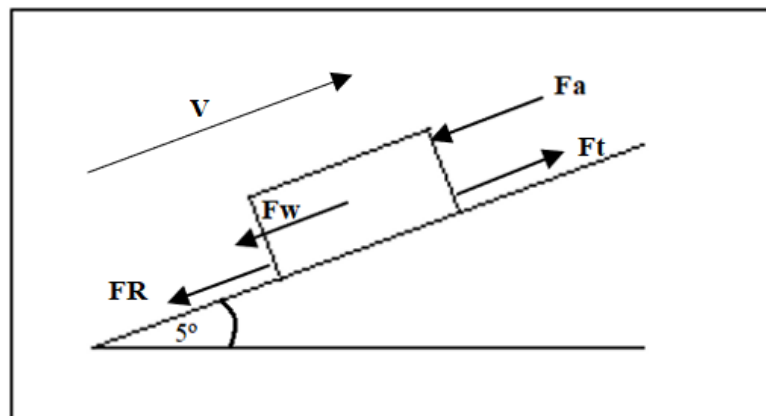
Fuente: http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6707s/x6707s04.htm

Elaborado: Sanchez Ruben, Yépez Richard

4.6.1. Pre-cálculos para la selección del motor eléctrico.

Mediante el uso de la 2da Ley de Newton se determinan las fuerzas que intervienen en el vehículo, para poder tener una visión más realista se debe introducir todas las fuerzas que actúan sobre el vehículo en movimiento en una pendiente como se muestra en el diagrama (Figura 36).

Figura 35 Tipos de fuerzas en planos inclinados



Fuente: Los Autores

Elaborado: Sanchez Ruben, Yépez Richard

$$F_t - F_a - F_w - F_R = m \cdot a \quad (22)$$

Donde:

F_t=Fuerza de tracción.

F_a =Fuerza Aerodinámica

F_w =Fuerza de ascenso del vehículo

m =Peso (Kg)

a = Aceleración.

Para calcular la potencia necesaria del motor, es prescindible conocer el valor del peso total del vehículo, que se lo detalla en la Tabla 3.

4.6.2. Fuerza de ascenso

Es la fuerza total del Buggy que actúa sobre el eje x, que para el caso está inclinado a 5°.

Se expresa por la siguiente ecuación (23).

$$F_w = mg \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (23)$$

Donde:

m = Masa total del vehículo (kg)

g = Gravedad.

α = Angulo de inclinación (5°)

$$F_w = (311Kg) \left(9.8 \frac{m}{s^2} \right) \cdot \text{sen}(5)$$

$$F_w = 265.62 \text{ N}$$

4.6.3. Fuerza de fricción.

Esta fuerza contrapone al movimiento del Buggy lo que provoca fricción entre los neumáticos y la superficie y está dada por la siguiente ecuación.

$$F_R = \mu_{c-a} N \quad (24)$$

Donde:

μ_{c-a} =Coeficiente de rozamiento caucho y asfalto

N = Normal

El coeficiente de rozamiento se lo determina según las condiciones de la superficie, especificadas en la Tabla 8.

Tabla 8: Coeficiente de rozamiento.

Condición y tipo de superficie	μ
Hormigón muy bueno	0.008 – 0.1
Asfalto muy bueno	0.01 – 0.0125
Hormigón promedio	0.01 – 0.015
Pavimento muy bueno	0.015
Asfalto Promedio	0.018
Hormigón en malas condiciones	0.02
Pavimento de bloque en buen estado	0.02

Fuente: T.William Lambe, Robert V. Whitman. Mecánica de Suelos

Elaborado: Sánchez Angulo Ruben, Yépez Cerruffo Richard

Considerando un asfalto muy bueno se toma el valor $\mu = 0.0125$ y reemplazamos en la ecuación (24).

$$F_R = 0.0125 * 311Kg * 9.8 \text{ m/s}^2 * \cos(5)$$

$$F_R = 37.95 \text{ N}$$

4.6.4. Fuerza de tracción.

Es la fuerza que genera el movimiento, es decir, es la tracción que necesita proveer el motor eléctrico para impulsar al Buggy y para hallar el valor, es necesario despejar la siguiente ecuación determinada por el diagrama de cuerpo libre.

Despeje de la ecuacion (22)

$$F_t = F_a + F_w + F_R + m \cdot a$$

Para calcular la aceleración se estima que al vehículo le tome cerca de 10s alcanzar una velocidad de 15 km/h partiendo de 5 km/s. para ello se hace uso de la ecuación (25)

$$a = \frac{V_f - V_o}{t} \quad (25)$$

Donde:

V_f = Velocidad Final (15 km/h = 4.16 m/s)

V_o = Velocidad inicial (5 km/h = 1.4 m/s)

t = Tiempo (10 segundos)

$$a = \frac{(4.16 - 1.4) \text{ m/s}}{10 \text{ s}}$$

$$a = 0.26 \text{ m/s}^2$$

La aceleración obtenida de la ecuación (25), se usará para encontrar la fuerza de tracción utilizando la ecuación (22).

$$F_t = 16.57 \text{ N} + 265.6 \text{ N} + 37.95 \text{ N} + (311 \text{ Kg}) \cdot (0.26 \text{ m/s}^2)$$

$$F_t = 400.98 \text{ N}$$

4.6.5. Cálculo de la Potencia.

La potencia necesaria se la calculará a partir de la fuerza de tracción obtenida producto de la velocidad máxima.

$$P_{Req} = F_t \cdot V_{max} \quad (26)$$

$$P_{Req} = 400.98 \text{ N} \cdot (8.33 \text{ m/s})$$

$$P_{Req} = 3340.16 \text{ W}$$

4.6.6. Potencia del motor.

Los motores eléctricos pierden entre un 10% y 20% de su energía en forma de calor, por lo que para calcular la potencia del motor se utiliza la siguiente ecuación.

$$P_m = \frac{P_{req}}{eficiencia}$$

$$P_m = \frac{3340.16 \text{ W}}{0.9}$$

$$P_m = 3711.3 \text{ W}$$

En vista del estudio y los cálculos realizados para dimensionar la potencia necesaria para el motor, se decide realizar las equivalencias de potencia de motores para los diferentes

ángulos de inclinación específicamente para vehículos tipo buggy con un peso total de 311 Kg, como se observa en la tabla 9.

Tabla 9 Potencia de motor con relación a los grados de inclinación en pendientes.

Porcentaje de inclinación (%)	Grados de inclinación (°)	Potencia (W)	Potencia con eficiencia 90% (W)	Potencia en HP
5	2,9	2413	2681	3594
8,75	5	3340	3711	4975
10	5,7	3649	4054	5435
15	8,5	4878	5420	7266
20	11,3	6098	6775	9082
30	16,7	8411	9346	12528
40	21,8	10535	11705	15690
50	26,6	12463	13848	18563
60	31	14159	15733	21090
80	38,7	16933	18814	25220
100	45	18988	21098	28281

Fuente: Los Autores.

Elaborado: Sánchez Angulo Ruben, Yépez Cerruffo Richard

4.6.7. Selección del motor.

Ya determinado los cálculos de la potencia del motor, se realiza una búsqueda de motores eléctricos de corriente continua con un eficiencia $\geq 90\%$. Se considerarán los siguientes motores:

Tabla 10 Motores eléctricos.

Motor	Nombre	Peso	RPM	Potencia	Voltaje de operación	Eficiencia
	Jay 40	8 Kg	2200	4000 W	60 V	90%
	Dum Energy	10 Kg	6500	4000 W	72 V	90%

Fuente: Catálogo de fabricante Jay y Dum energy

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard

Para los cálculos realizados se selecciona el motor Jay 40 de 4000W, eficiencia del 90% y voltaje de operación 60V, por ajustarse a las condiciones requeridas RPM.

4.6.8. Características del motor seleccionado.

- ❖ Tipo de motor: CC, sin escobillas (BLDC)
- ❖ Tensión nominal: 60V
- ❖ Potencia nominal: 4KW
- ❖ Corriente nominal: 66A
- ❖ Potencia máxima: 5.2KW
- ❖ Velocidad máxima: 2200RPM
- ❖ Par de torsión nominal: 10.3N.m.
- ❖ Par máximo: 41 N. m.

4.6.9. Selección del sistema de control.

El elemento principal que compone un vehículo eléctrico es el sistema de control, el mismo que funciona a travez de un controlador que regula las variaciones de corriente de las baterías al motor, en el desarrollo de este proyecto de investigacion se utilizará un pedal potenciómetro, que funcionará como interruptor de encendido y apagado, es decir, cuando se presione el pedal, se activará el controlador y cuando se suelte se desactivará apagando el motor.

4.6.10. Criterios de selección del controlador.

Para la selección del controlador se consideran los siguientes criterios.

- ❖ Capacidad de cambiar el sentido de giro del motor para que funcione con marcha de avance y retroceso.
- ❖ La tensión de funcionamiento debe ser de 60 V y que entregue 66 A.
- ❖ Compatible con motores de tipo BLDC.
- ❖ Sistema de refrigeración.

A continuación se muestra una lista de contraladores en la tabla 11.

Tabla 11 Catálogo de controladores

Controlador	Nombre	Peso (Kg)	Corriente de operación (A)	Potencia (Kw)	Voltaje de operación (V)
	Yuan Xi	2.5	70/80	4	48-96
	Heelway	2.5	100	4	48-96
	Sabvoton QS	2.7	150	4	48-72

Fuente: Catálogos de fabricantes Heelway, Yuan Xi, Sabvoton QS

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

Se seleccionó el controlador Yuan Xi, ya que cumple con las características necesarias para accionar el motor.

4.6.11. Especificaciones del controlador.

- ❖ Voltaje de entrada: 48V/60V/96V
- ❖ Corriente de operación: 17A/27A/32A/40A/50A/60A/70A/80A
- ❖ Potencia: 4000W

4.6.12. Funciones del controlador.

- ❖ 3 Velocidades
- ❖ Antirrobo.
- ❖ Posibilidad de Display

4.6.13. Criterios de selección de batería.

Para elegir la batería más adecuada respecto al proyecto de investigación se consideran los siguientes criterios:

4.6.13.1. Energía específica.

Se define como la cantidad total de energía que la batería puede almacenar.

4.6.13.2. Densidad de energía.

Esta definido como la cantidad de energía que una batería es capaz de almacenar en relacion a su tamaño.

4.6.13.3. Potencia específica.

Es el número máximo de vatios por kilogramo que una batería desarrolla en un regimen de descarga.

4.6.13.4. Ciclo de vida.

Se define como el número total de veces que una batería puede ser descargada y cargada durante su vida.

4.6.13.5. Tiempo de carga.

Es la cantidad de tiempo que le toma a una batería cargarse desde 0 a 100%.

Tabla 12 Comparativa de especificaciones entre la batería Acido-Plomo y Litio

Tipo de baterías	Energía Especifica (Wh/kg)	Densidad energía (Wh/kg)	Potencia especifica (Wh/kg)	Ciclos de vida	Eficiencia energética (%)	Tiempo de carga (horas)
Acido-Plomo	40	30	130	400	65	8 a 17
Litio	100	100	300	1200	90	3

Fuente: Todo sobre baterías y almacenamiento de energía, ENERGÍA, NOVEDADES, RESEARCH, SOSTENIBILIDAD

Elaborado: Sánchez Angulo Ruben, Yépez Cerruffo Richard

Según se observa en la tabla 12, se determina que la batería de litio tiene mejores características frente a la de ácido de plomo, especialmente en la densidad de energía, lo que indica que la opcion de Litio es recomendable al almacenar más energía en un menor espacio.

Para tener beneficios respecto al costo y peso total del vehículo, se plantea armar una batería que pueda energizar los componentes a partir de pilas 18650, recicladas de baterías de computadoras portátiles, ya que estas baterías en su interior tienen un circuito que deshabilita todas las pilas en su interior si una de ellas llegase a fallar.

A continuacion, se procede a realizar el desarrollo.

4.6.14. Diseño de la batería.

En la Tabla 13, se especifican las características básicas de una pila 18650, que son necesarias para la configuración deseada.

Tabla 13 Características de la celda 18650

Capacidad	2200 mAh
Voltaje Nominal	3.7 V
Voltaje de corte de descarga	3.0 V
Máximo voltaje de carga	4.2 ±0.02V
Corriente de carga rápida	1 A

Fuente: Samsung

Elaborado: Sánchez Angulo Ruben, Yépez Cerruffo Richard

Para el diseño electrónico se analizaron las especificaciones de funcionamiento del motor, el mismo que requiere **un voltaje de 60, con un máximo de 63 V**, para determinar la cantidad de celdas necesarias para alcanzar la tensión antes mencionada, se utiliza la siguiente ecuación.

$$V = n_b * V_u \quad (27)$$

Donde

V= Voltaje requerido

Nb= Numero de celdas

Vu= Voltaje nominal.

Para determinar el número de celdas necesarias se despeja n_b de la ecuación (27).

$$n_b = \frac{V}{V_u} \quad (28)$$

$$n_b = \frac{60 \text{ v}}{4 \text{ v}}$$

$$n_b = 15$$

Basados en la ley de ohm se determina que, para alcanzar los 60 v, se deben conectar en serie 15 baterías.

Sin embargo para la capacidad de carga, al contar con un numero de celdas limitadas del proceso de reciclaje, se realiza el cálculo para determinar la cantidad de carga que almacenará la batería para una conexión de 5 celdas en paralelo.

$$I = n_b * I_c \quad (29)$$

$$I = 5 * 2.2 \text{ Ah}$$

$$I = 11 \text{ Ah}$$

Donde

I= Amperaje total

Nb= Numero de celdas

Ic= Amperaje por celda.

De las ecuaciones (27) y (29) se determina que para obtener una batería de 60v y 11Ah, se necesitan 75 celdas en total.

4.6.15. Protección de la batería.

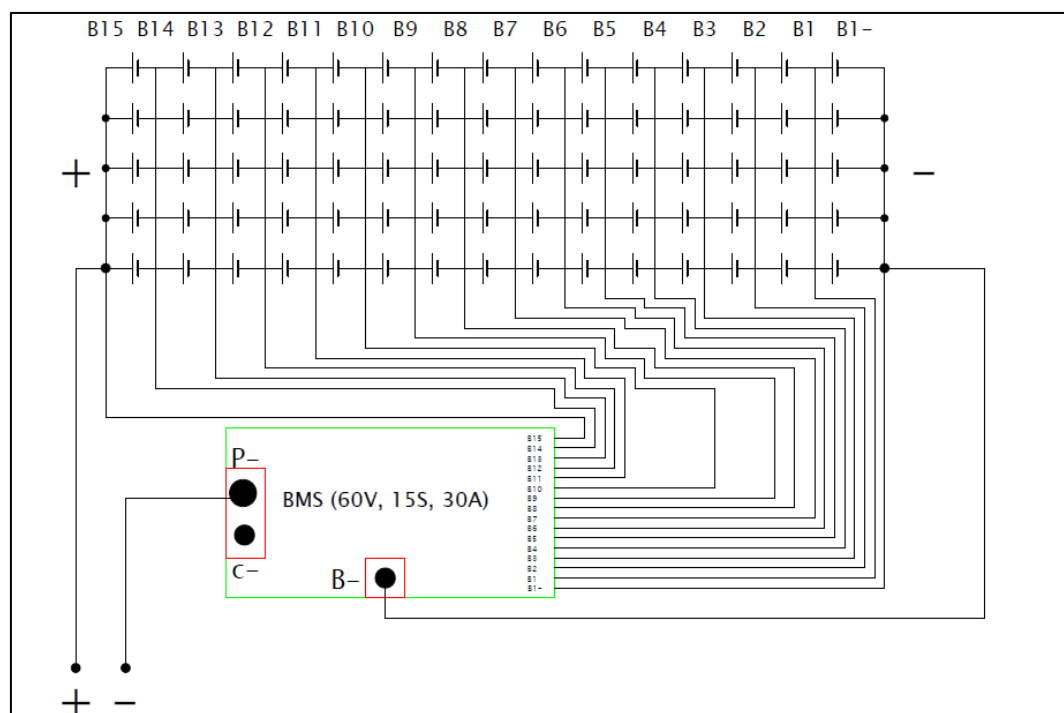
Es indispensable la instalación de un componente llamado BMS (Battery Management System) en el pack de baterías a armarse, pues su uso garantizará la seguridad de la batería

porque este componente es el encargado de administrar la carga y la descarga, así como también alargar la vida útil de la batería, es decir, el BMS equilibra las celdas entre ellas. [39]

4.6.17. Esquema de conexión.

Como se indicó anteriormente la batería se conectará en serie y paralelo para obtener el voltaje y amperaje que se calculó, en total se ocuparán un total de 75 celdas 18650 y se conectarán como se muestra en el siguiente esquema [40](Figura 36).

Figura 36 Esquema de conexión de la batería en ProfiCAD

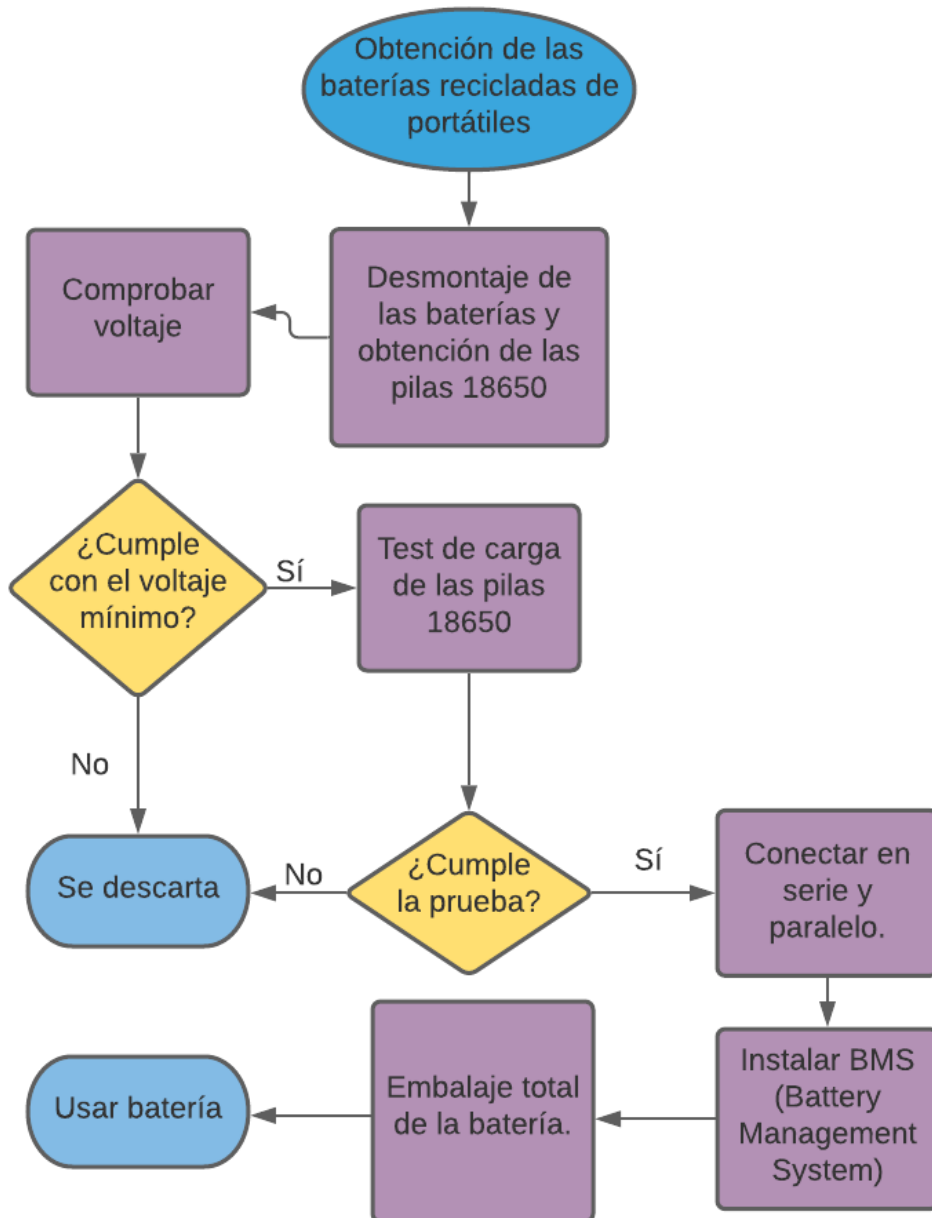


Fuente: Sánchez Angulo Ruben, Yépez Cerruffo Richard.

Para realizar el esquema de la figura 36, se utilizó la ayuda del software Proficad, ya que este tiene la simbología necesaria y facilita el trabajo al conectar los elementos entre sí

4.6.18. Diagrama de flujo de la adaptación.

Figura 36 Diagrama de flujo



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

4.6.19. Especificaciones de la batería

Tabla 14 Especificaciones de la batería

Tensión Máxima	60 V $\pm$ 3 V
Capacidad de carga	11 Ah
Potencia Máxima	660 Wh
Peso	4 kg

Fuente: Los Autores.

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard

Ventajas.

- ❖ **Peso.-** La batería se formo a partir de pilas de celda denominadas 18650 con un peso aproximado de 46 gr y en total se utilizaron 75 de estas celdas, por lo que su peso máximo es de 4 Kg.
- ❖ **Ciclos.-** Al ser formada por celdas de litio, sus ciclos de carga son altos
- ❖ **Costos.-** Los costos empleados para formar la batería fueron bajos al ser de componentes reciclados de baterías de computadoras portátiles.

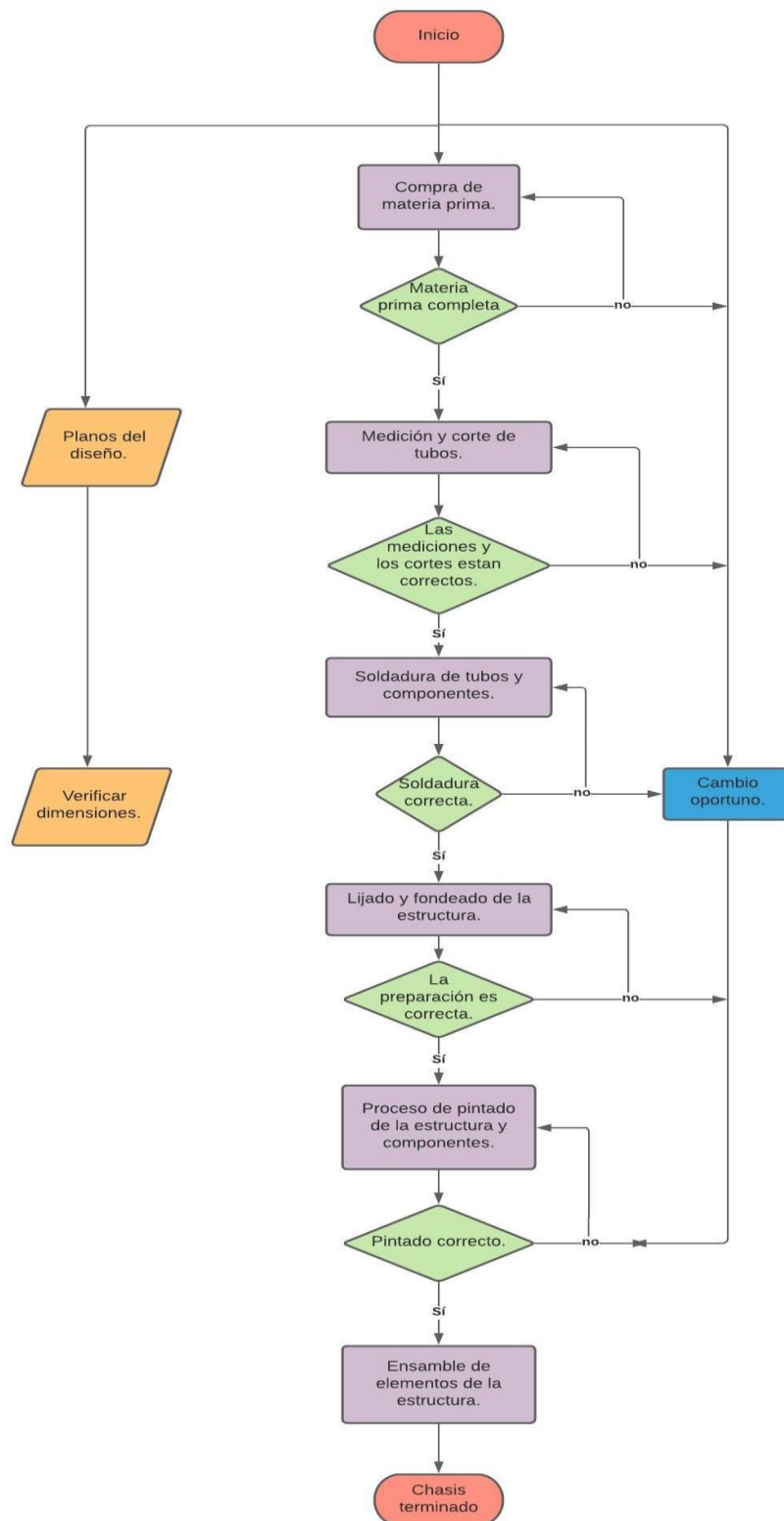
Desventajas.

- ❖ **Autonomía.-** Por ser una batería hecha a partir del reciclaje más de 40% de las celdas obtenidas no cumplieron con los requerimientos necesarios para su utilización, por lo que el uso limitado de pilas redujo drásticamente la capacidad de carga de la batería a 11 Ah, que de manera experimental son aproximadamente 10 Km.

Los datos antes mencionados se obtuvieron de forma experimental, mediante el uso de un multímetro para medir el voltaje máximo y un cargador tipo Lithokala de pilas 18650 con el que se garantizo que todas las pilas utilizadas para esta batería contaban con 2.2 Ah, y de forma analítica en la Ec. 29 se determinó que la capacidad de carga máxima es de 11 Ah.

4.7. Construcción, Montaje y Costos

Figura 37 Diagrama de flujo de la construcción del chasis.



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

4.7.1. Construcción.

Para la fase de construcción de la estructura se consideran las siguientes etapas:

- ❖ Medición y trazado del tubo.
- ❖ Corte y preparación del tubo.
- ❖ Soldar.
- ❖ Preparar la estructura para su posterior proceso de pintado.

4.7.1.1. Medición y trazado del tubo.

Por medio de las medidas establecidas en los planos del chasis (Anexo 5), se realizará el trazado del tubo tomando en cuenta la cantidad de material que se desprenderá por medio de la sierra de corte, para que de esta manera el tubo cuente con las medidas que esta especificada en los planos.

Figura 38 Materiales de medición.



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

4.7.1.2. Corte de tubos.

Con el fin de cortar y tener las medidas precisas de los tubos a utilizar para la construcción del chasis, se usó una máquina tronadora (figura 40), esta permite realizar cortes precisos y otorga la facilidad de realizar cortes en ángulos.

Figura 39 Tronzadora



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

4.7.1.3. Preparación de tubos para soldar.

Al ser una estructura tubular se debe mecanizar los tubos realizándole un perfilado (figura 41) para poder soldarlos entre sí.

Figura 40 Perfilado del tubo

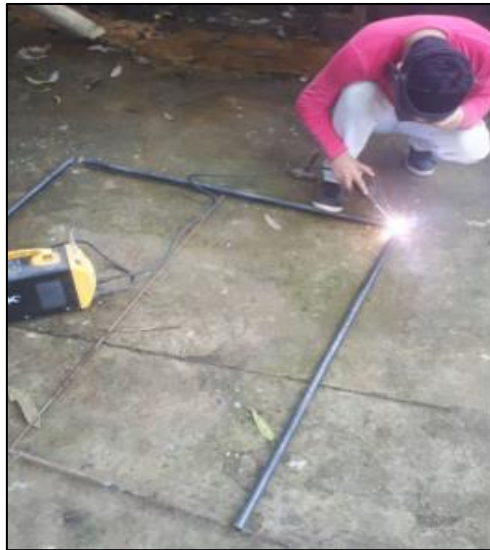


Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

4.7.1.4. Soldadura de la estructura.

Como se establecio en capítulos anteriores la soldadura a utilizar para la union de todo la estructura, es la SMAW con electrodo E6011, al ser una soldadura netamente manual el soldador debe tener habilidad para evitar el exceso de escoria y el chisporroteo.

Figura 41 Soldadura SMAW.



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

4.7.1.5. Proceso de pintado.

La pintura que se aplicara a la estructura es de poliuretano, esta va mezclada con diluyente y para un acabado brillante se mezcla con catalizador, la aplicación de la pintura se hace por medio de pistola de gravedad con aire a presión. Antes de realizar el proceso de pintado, la estructura debe limpiarse, lijarse y aplicársele un fondo adherente.

Figura 42 Estructura pintada.



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard

4.7.1.6. Construcción de los triángulos de suspensión.

Para el sistema de suspensión se escogió construir triángulos de suspensión, para la parte delantera y la parte posterior del vehículo, los triángulos de suspensión serán construidos con acero ASTM A36.

Figura 43 Triangulos de suspensión.



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard

4.7.2. Ensamble de la estructura.

Luego de mecanizar los tubos, se prosigue a realizar el encuadre de la base del chasis, en una superficie plana (figura 44).

Figura 44 Base del chasis.



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard

De igual manera se procede a construir el cuadro superior de la estructura.

Figura 45 Cuadro inferior del chasis.



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard

Después de construir el cuadro del chasis, se realizará el ensamble de los brazos de dirección de la parte delantera y posterior con el fin de establecer la inclinación dispuesta para el vehículo.

Figura 46 Sistema de suspensión delantero.



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard

Figura 47 Sistema de suspension posterior.



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard

4.8. Montaje

Una de las partes más importantes del proyecto es el montaje de los componentes en la estructura, esta se debe realizar tomando en consideración las características de cada elemento.

4.8.1. Componentes eléctricos.

Para determinar el espacio de los componentes, primero se realiza el montaje del motor eléctrico, mismo que irá conectado con la batería y el controlador, de esta manera verificar que espacio entre ellos no afecten a los demás componentes del vehículo.

Para la cadena de transmisión el motor irá ubicado en la parte posterior de la estructura, utilizando un sistema de transmisión por cadena y fijándolo mediante unión pernada.

Figura 48 Montaje de componentes eléctricos.



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard

Figura 49 Transmisión por cadena.



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard

4.8.2. Sistema de suspensión.

Para el sistema de suspensión delantera se soldaron soportes a la estructura tubular con el fin de sujetar los extremos de la suspensión, de manera que quede alineado el plato de la suspensión con relación a la estructura del vehículo.

Figura 50 Suspensión delantera.



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard

En el sistema de suspensión se ubican los platos de los amortiguadores en los brazos de dirección y se alinean a la estructura para tener un dimensionamiento homogéneo y fijado mediante pernos.

Figura 51 Suspensión posterior.



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard

4.8.3. Sistema de frenos.

El montaje del sistema de frenos para la parte delantera se desarrolla de manera que en la manzana de la rueda se monta el disco de freno, este se sujeta mediante pernos y sobre el soporte de la manzana se monta la mordaza para ensamblar el disco de freno.

Figura 52 Sistema de freno delantero.



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard

Para el sistema de frenos de la parte posterior, el disco de freno se monta sobre el estriado del eje motriz y sobre este se monta la mordaza.

Figura 53 Sistema de freno posterior.



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard

La figura 54 muestra un montaje del 90% de los componentes del vehículo, proporcionando de esta manera una imagen clara sobre la finalidad de este proyecto.

Figura 54 Buggy.



Fuente: Sánchez Ruben, Yépez Richard

4.9. Presupuesto.

Tabla 15 Presupuesto para la fabricación del buggy.

N º	Producto	Cantidad	P. Unit	Valor
1	Tubos redondos negro de acero ASTM A36	10	\$ 6.5	\$ 65
2	Tiras de Níquel	1	\$ 13,9	\$ 13,9
3	Controlador	1	\$ 52	\$ 52
4	Bms	1	\$ 37,19	\$ 37,19
5	Pedal acelerador	1	\$ 21,79	\$ 21,79
6	Motor 2 Kw	1	\$ 125	\$ 125
7	Cuadrón	1	\$ 300	\$ 300
8	Plancha de tool 1,5mm de espesor	1	\$ 46	\$ 46
9	Kilogramos de Electrodo E6011	4	\$ 2.4	\$ 9,6
10	Discos de corte	3	\$ 2.5	\$ 7,5
11	Discos de pulir	2	\$ 1.8	\$ 3,6
12	Cables de frenos	2	\$ 2.5	\$ 5
13	Cremallera	1	\$ 35	\$ 35
14	Nudo para volante	1	\$ 35	\$ 35
15	Pintura	3	\$ 4	\$ 12
16	Cargador para celdas 18650	1	\$ 40	\$ 40
17	Acoples para la configuración de las celdas 18650	50	\$ 0.7	\$ 35
18	Rodamientos	2	\$ 4.25	\$ 8,5
19	Impuesto por envió desde el exterior	X		\$ 100
20	Servicios de torno	X		\$ 50
Total				\$ 1001,98

Elaborado: Sánchez Angulo Ruben, Yépez Cerruffo Richard

4.10. Prueba de ruta

En las pruebas de rendimiento se verifico la velocidad máxima, tiempo en alcanzar la velocidad maxima y arranque en pendiente.

4.10.1. Velocidad maxima

En un trayecto sin asfaltar y lastradas (calles de 3er Orden).

Tabla 16 Prueba de velocidad

Pendiente en °	Velocidad alcanzada	Tiempo
0	35 km/h	17 segundos.

Fuente: Los Autores.

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

En la tabla 16 se determina que al vehículo le toma 17 segundos alcanzar los 35 Km/h desde el reposo, y que no puede superar esa velocidad definiendola como la velocidad máxima, el aumento de la velocidad máxima obtenido esta directamente relacionada con la potencia calculada de 3711 W y el motor seleccionado que para el caso fue 4000 W.

4.10.2. Arranque en pendiente.

Para esta prueba se toma una calle sin asfaltado, con una pendiente de aproximadamente 15°.

Tabla 17 Arranque en pendiente

Carga	Grados de pendiente.	Resultado
Un ocupante 70 Kg	15°	Logra subir
Dos Ocupantes 140 Kg	15°	No logra subir

Fuente: Los Autores

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard

Como se observa en la tabla 17, el vehículo no logra subir una pendiente de 15° con dos ocupantes, sin embargo si lo logra con un ocupante. Este comportamiento es normal, ya que al reducir el peso total del vehículo, se reduce la carga que el motor debe vencer.

4.10.3. Autonomía.

Para determinar la autonomía del vehículo se realizaron dos pruebas como se muestran en la tabla 17.

Tabla 18 Datos del recorrido.

No.	Tiempo	Velocidad	Distancia recorrida.
1	15 min	25 km/h	6 Km
2	8 min	35 Km/h	4.5 Km

Fuente: Los Autores

Elaborado: Sánchez Ruben, Yépez Richard.

Según se observa en la tabla 18, cuando se mantiene una velocidad constante en el vehículo de 25km/h, se obtiene una autonomía de 6 km, por el contrario, cuando se conduce de una manera diferente, es decir, tratando de llevar el vehículo a su máxima potencia, su autonomía se ve afectada reduciéndose a 4.5 km.

La baja autonomía del vehículo esta directamente relacionada con la capacidad de la batería, como ya se explico en el diseño de la batería, se cuenta con 11 Ah de capacidad de carga y un total de 660 W.h de potencia por parte de la batería, la autonomía del vehículo se puede mejorar incrementando el número de pilas denominadas 18650.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones y recomendaciones.

5.1.1. Conclusiones.

- ❖ Con el software CAD SOLIDWORKS se realizó el diseño de la estructura y proporcionó un análisis estructural adecuado basándose en parámetros que arrojan datos reales que permiten conocer las cargas que el chasis soporta, tanto de manera lateral (3616.2N), frontal (7232N), posterior (7232N) y vertical (9996N), de esta manera se comprobó que los valores generados por estas cargas están por debajo del límite de fluencia del material(250MPa), proporcionando un factor de seguridad de 1,3.
- ❖ Se construyó el vehículo utilizando la norma FAU, misma que permitió establecer las dimensiones del chasis, parámetros de cargas que debe soportar la estructura y el material utilizado.
- ❖ Se seleccionó un motor eléctrico tipo Brushless (Sin escobillas) con una potencia de 4 Kw, para impulsar el vehículo con un peso estimado de 311 Kg y a una velocidad de 35 Km/h
- ❖ Se realizó un diseño esquemático en el software ProfiCad, con la finalidad de facilitar la conexión de los componentes que la integran, posteriormente se adaptó una batería que tiene como características: 60 V y 11 Ah con una potencia total de 660 W.h, para alimentar el motor y los demás componentes eléctricos brindándole un tiempo de uso que oscila entre 8 y 15 minutos, dependiendo directamente de la forma de conducir.

5.1.2. Recomendaciones.

- ❖ Para realizar el diseño de la estructura se debe tener conocimientos sobre los conceptos que abarca un análisis estructural, ya que de ello dependerá la interpretación que se le dé a los resultados.
- ❖ Se recomienda usar programas que involucren métodos de elementos finitos para de esta manera validar los cálculos analíticos, realizados en el proyecto, debido que algunos sistemas de Buggys son complejos y ameritan un análisis más a profundidad.
- ❖ Es recomendable usar el vehículo respetando los parámetros de peso establecido y el número de ocupantes no debe ser mayor de dos personas (150 kg).
- ❖ Para utilizar el vehículo en competición realizar simulaciones en programas que arrojen resultados más exactos como LS DYNA y adicional doblar los parámetros de carga establecidos para ensayos de impacto.
- ❖ Para aumentar el ángulo de inclinación en pendientes que el vehículo debe vencer, se recomienda seleccionar un motor con mayor potencia.
- ❖ Para mejorar la autonomía del vehículo se deberán incrementar las pilas 18650 utilizadas para adaptar la batería encargada de energizar el motor y demás componentes eléctricos.

Capítulo VI

Bibliografía

6. Bibliografía

- [1] S. d. t. d. automoción, El Vehículo Eléctrico. Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades, Barcelona: LIBROOKS BARCELONA, 2011.
- [2] O. B. D. Joan Antony Ros Marín, Vehículos Eléctricos e Híbridos, Madrid: Paraninfo, 2017.
- [3] J. R. Viloria, Motores eléctricos: accionamiento de máquinas. 30 tipos de motores, Paraninfo-Thomson Learning, 2005.
- [4] J. T. Montecelos, Vehículos eléctricos, Madrid: Paraninfo, 2019.
- [5] A. B. J. G. Guzman Diaz, Variación de la velocidad de los motores eléctricos, Oviedo: Servicio de publicaciones. Universidad de Oviedo, 2002.
- [6] I. L. Kosow, Máquinas eléctricas y transformadores, Hispanoamericana S.A., 1993.
- [7] J. M. A. C. F. J. A. Enrique Mandado, Autómatas programables y sistemas de automatización., Barcelona: Marcombo, 2009.
- [8] M. B. J. P. F. T. Daouda Mande, Optimización de controlador PI de orden fraccional para inversor de fuente cuasi-Z bidireccional utilizado para sistema de tracción eléctrica, Biblioteca en línea Wiley, 2020.
- [9] M. Guarnieri, Looking back to electric cars 3Ed, 2012.
- [10] A. R. M. F. M. B. J. G. F. J. C. M. y. A. M. G. S. González Marrero, "Proyecto de conversión de un automóvil de combustión interna en eléctrico", Biblioteca Universitaria, 2010.
- [11] Bosch, Manual de la tecnica del automovil. 3ra Edicion, Barcelona, Bogota, Buenos Aires, Caracas, Mexico: Reverté S.A., 1996.
- [12] ThermoAnalytics, «Battery type and characteristics for HEV,» 2007. [En línea]. Available: <https://web.archive.org/web/20150520021436/http://www.thermoanalytics.com/support/publications/batterytypesdoc.html>.
- [13] Z. .. Wen, Y. .. Hu, X. .. Wu, J. .. Han y Z. Gu, Principales desafíos para la batería NAS de alto rendimiento: materiales e interfaces, 2013.
- [14] A. M. d. Frutos, «¿Qué es Efecto Memoria?,» *computerhoy*, 2017.
- [15] crownbattery, «crownbattery,» 6 12 2019. [En línea]. Available: <https://www.crownbattery.com/es/blog/what-is-a-deep-cycle->

battery#:~:text=Una%20bater%C3%ADa%20de%20ciclo%20profundo,el%20momento%20que%20debe%20recargarse.. [Último acceso: 7 5 2021].

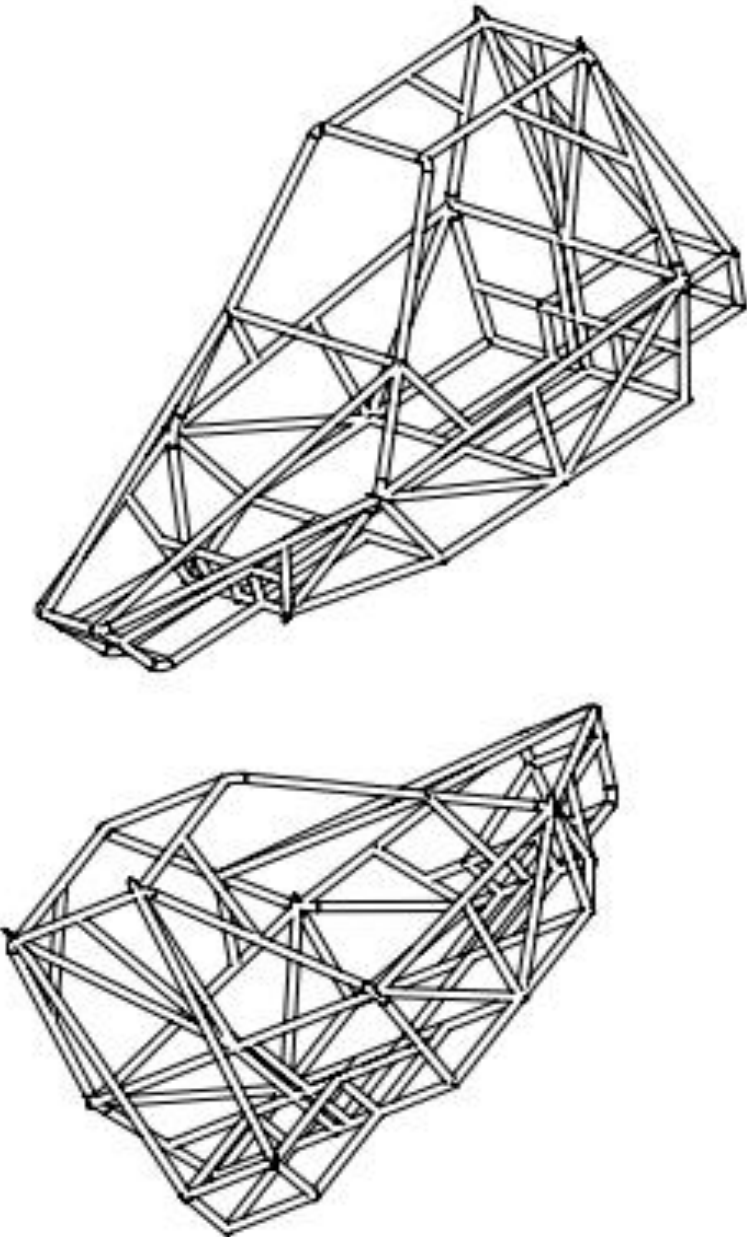
- [16] A. P. J. Manuel, Técnicas del automovil. Chasis, Madrid: Paraninfo, 2010.
- [17] I. E. D. NORMALIZACIÓN, VEHÍCULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES., Quito, 2009.
- [18] Federacion de enseñanza de Andalucía, «Temas para la educacion,» *Revista digital para profesionales de la enseñanza* , nº 15, pp. 2-3, 2011.
- [19] R. Hibbeler, Mecanica de Materiales, Mexico: Pearson Educacion, 2006.
- [20] Beer.F, Mecanica de materiales 5ta edicion, McGraw Hill, 2010.
- [21] J. L. G. Velázquez, Metalurgia mecanica, Mexico. D.F: Limusa, 1999.
- [22] K.-H. Dietsche, Manual de la técnica del automóvil, Alemania: Reverte, 2005.
- [23] M. Solà, Metales resistentes a la corrosion, Barcelona: Marcombo, 1990.
- [24] W. W. J. Giachino, Técnica y práctica de la soldadura, Barcelona: Reverte, 1996.
- [25] R. L. Bernau, Elementos De Metalografia y de Acero al Carbono, Snatiago de Chile: Andres Bello, 1958.
- [26] L. M. V. Moreno, Materiales industriales. Teoría y aplicaciones, Medellin: Instituto Tecnologico Metropolitano, 2008.
- [27] R. G. Budynas, Shigley's Mechanical Engineering Design, Ninth Edition, MC GRAW HILL.
- [28] M. P. M. M. P. A. Romero. M, Resistencia de Materiales, Universitat Jaume.
- [29] AMERICAN WELDING SOCIETY, Codigo de soldadura estructural-Acero, Estados Unidos: AWS, 2015.
- [30] A. N. Arranz, «Diseño y análisis de un chasis tubular para vehículo monoplaza,» 2010.
- [31] J. L. Carlos Rodriguez, Diseño Mecanico con Solidworks 2015, Madrid: RA-MA, 2015.
- [32] O. Zienkiewicz, El Metodo de Elementos Finitos, Swansea: REVERTE, 2007.
- [33] M. Bauccio, Materials Park, OH: Ed. ASM International, 1993.

- [34] AISC, Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcciones de Acero, alacero.
- [35] R. L. Mott, Diseño de elementos de máquinas, Mexico: Pearson Education, 2006.
- [36] S. Suniaga, «cadsolutions,» 5 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://cadsolutions.pe/blog/la-falla-pandeo-análisis-solidworks-simulation/>. [Último acceso: 6 Mayo 2021].
- [37] J. G. Roederer, Mecanica Elemental, ilustrada, 2002.
- [38] K. P. Biker, Ingenieria de la bateria moderna, Alemania: Word Cientific, 2019.
- [39] M. B. Carrera, Instalaciones solares fotovoltaicas, Editex, 2015.
- [40] ProfiCAD, El software para el dibujo técnico, Proficad, 2021.
- [41] Manager, «EnergyEv,» 2014 08 29. [En línea]. Available: <https://energyev.com/las-baterias-de-litio-y-bms-como-funcionan/#:~:text=El%20BMS%20se%20conecta%20al,por%20debajo%20de%202%2C5V.&text=Adem%C3%A1s%20de%20equilibrar%20las%20celdas,la%20carga%20cuando%20sea%20necesario..> [Último acceso: 2021 5 7].
- [42] J. J. P. ALWYN, «Diseño y construcción de un vehículo de tipo Kart Cross para rally,» Quito, 2009.
- [43] J. D. Ashby. M, Materiales para Ingenieria, REVERTRE.
- [44] E. L. Pellicer, Automóviles eléctricos, Zaragoza: INO Reproducciones, 1997.
- [45] C. E. L. T. Leonardo Javier Gómez Carreño, Estudio y estimación de emisiones generadas por motos de, Guayaquil: Universidad Internacional del Ecuador, 2018.
- [46] Á. CASADO, E. GARCÍA, J. GÓMEZ, T. GONZÁLO y M. NAVARRO, Amovibles, Paraninfo, 2014.
- [47] F. Zapata, «Lifeder,» 11 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.lifeder.com/cargas-vivas/>. [Último acceso: 6 Mayo 2021].
- [48] R. Bosch, Sistemas de freno convencionales y electrónicos, Studgart: Bosch, 2003.
- [49] J. Larry, Soldadura. Principios y aplicaciones, España: paraninfo, 2009.
- [50] J. J. L. Cela, Mecánica de los medios continuos, Castilla: Universidad la Mancha, 1999.

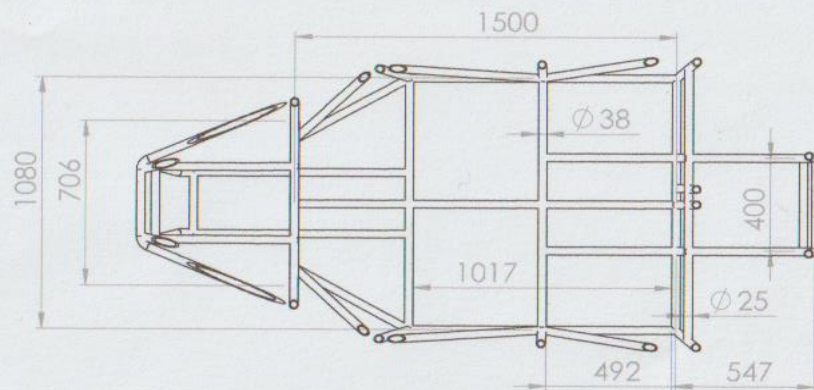
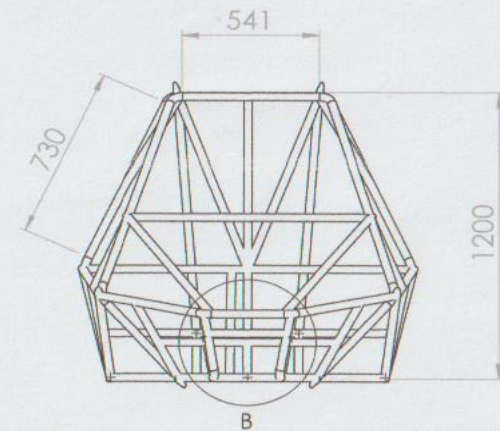
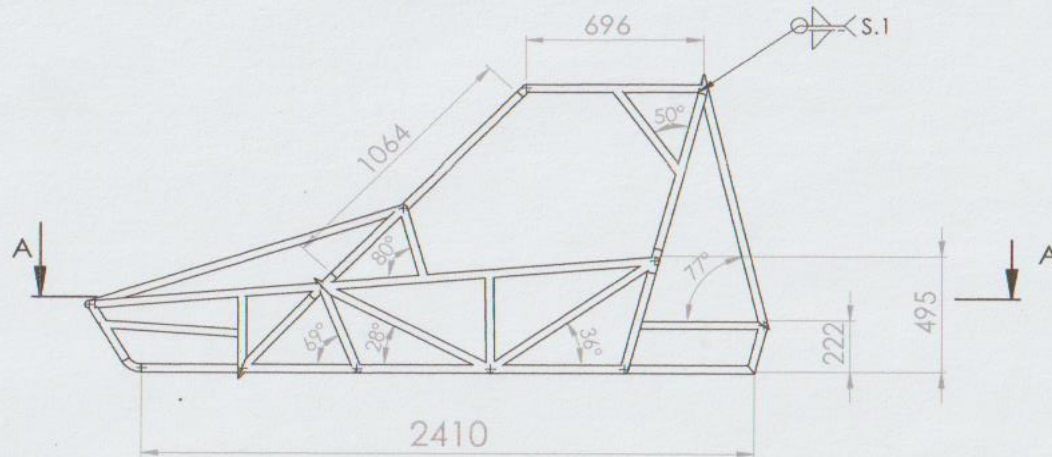
Capítulo VII

Anexos

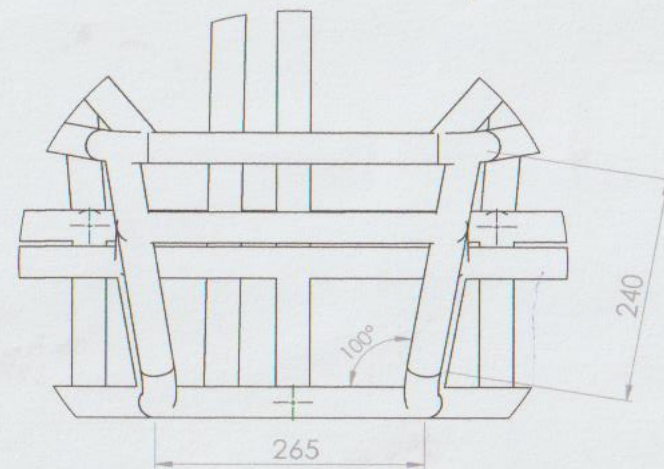
Anexo 1. Planos del buggy.



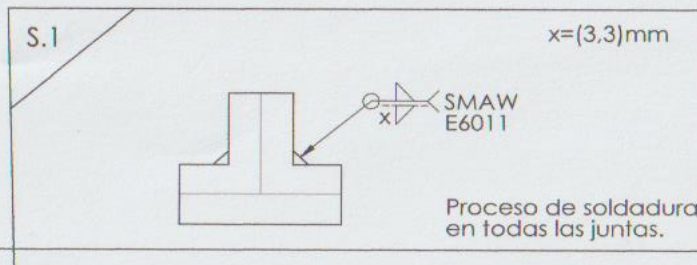
TRAT. TERMICO:		UTEQ	ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:			DIBUJO:	R. SANCHEZ; R. YEPEZ
NUM. PIEZA:	1		DISEÑO:	R. SANCHEZ; R. YEPEZ
MATERIAL:	ACERO ASTM A36	TOL. GRAL:	ESCALA:	REVISÓ:
		± 0.1	1:1	ING. SIMANCA JEAN
NOMBRE:	Chasis		CÓDIGO:	FECHA:
			1	15/02/21



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 20

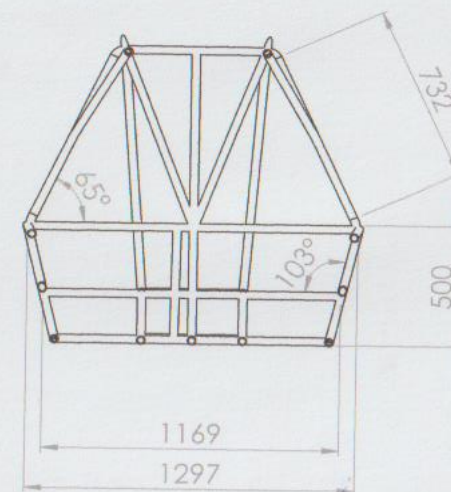
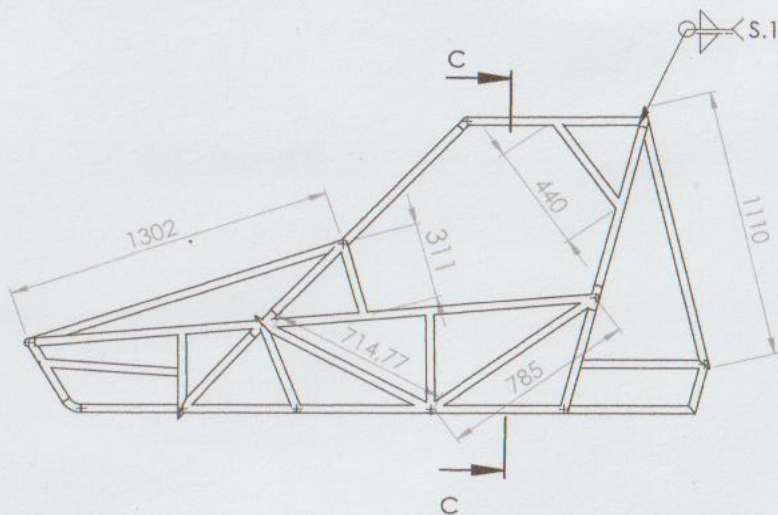


DETALLE B
ESCALA 1 : 5

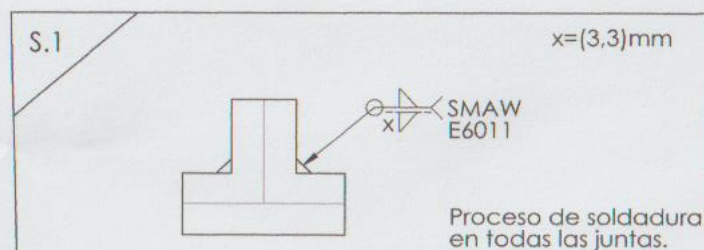


TRAT. TERMICO:	NO	UTEQ	ESCUOLA DE INGENIERIA MECANICA
RECUBRIMIENTO:	Proceso de pintado		
NUM. PIEZA:	1		
MATERIAL:	ACERO ASTM A36	TOL. GRAL: ± 0.1	ESCALA: 1:20
NOMBRE:	CHASIS	CODIGO:	FECHA:
		SY.1r.1.01	15/02/2021

DIBUJO:	SANCHEZ, R; YEPEZ, R
DISEÑO:	SANCHEZ, R; YEPEZ, R
REVISÓ:	ING. SIMANCAS JEAN

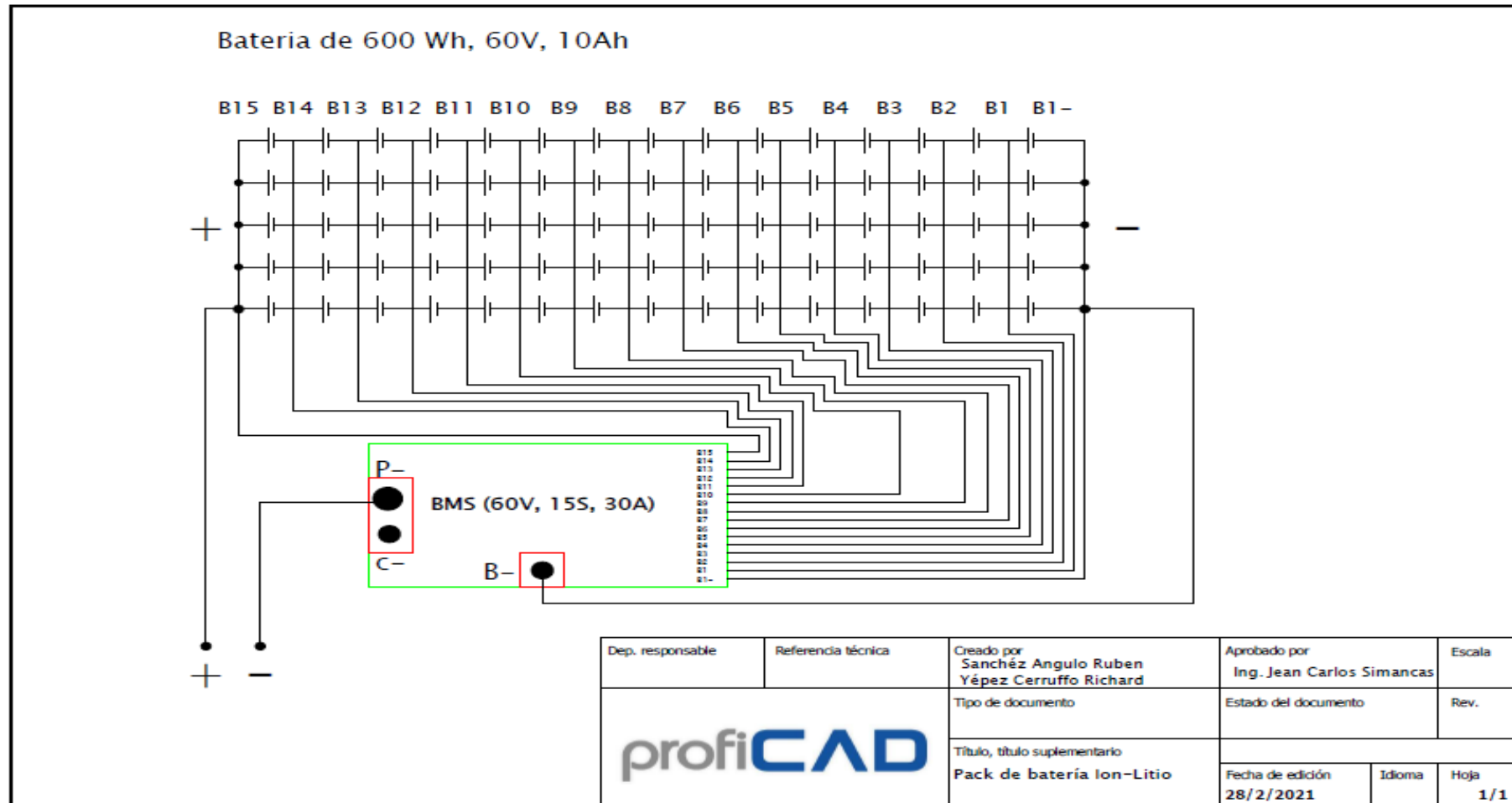


SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 20

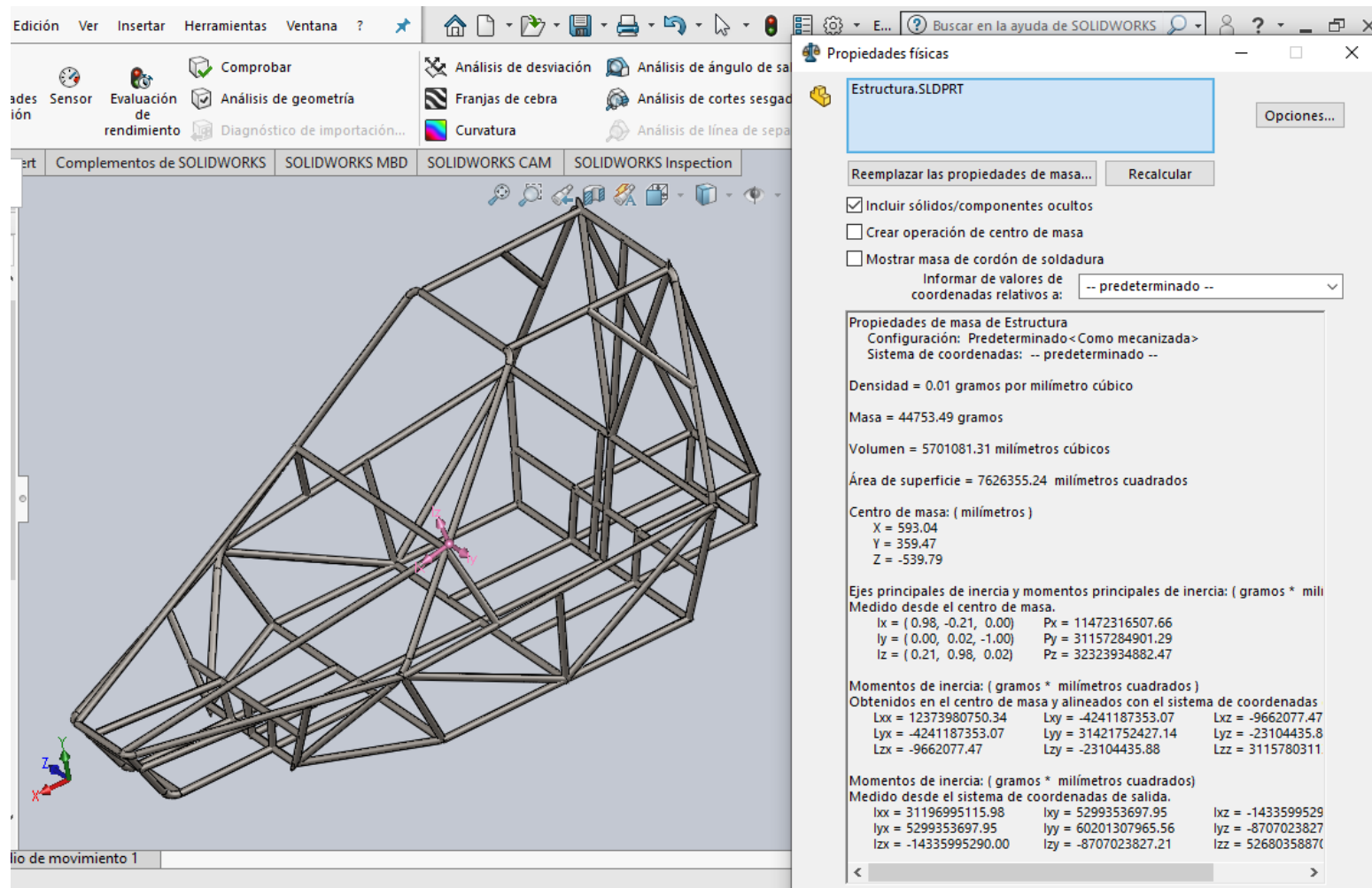


TRAT. TERMICO:	NO	UTEQ	ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Proceso de pintado			
NUM. PIEZA:	1	ESCALA: 1:20	DIBUJO:	SANCHEZ. R; YEPEZ. R
MATERIAL:	ACERO ASTM A36		DISEÑO:	SANCHEZ. R; YEPEZ. R
	TOL. GRAL: ± 0.1		REVISÓ:	ING. SIMANCAS JEAN
NOMBRE:	CHASIS	CODIGO:	FECHA:	
			SY.1r.1.02	
			15/02/2021	

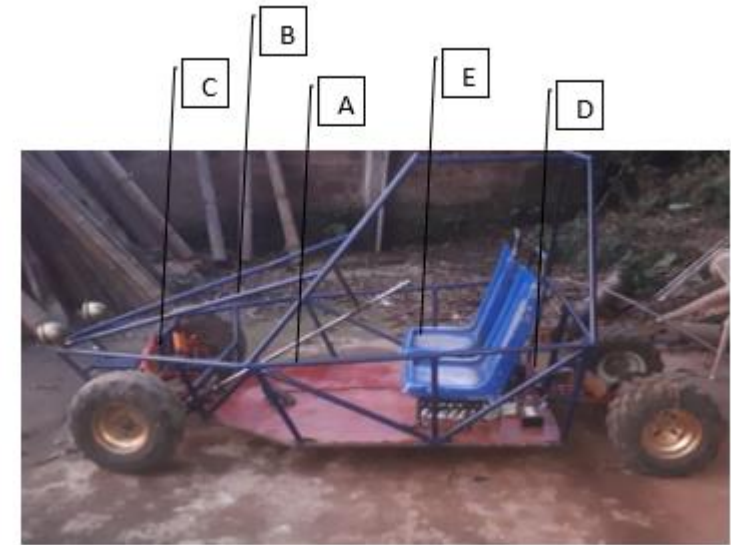
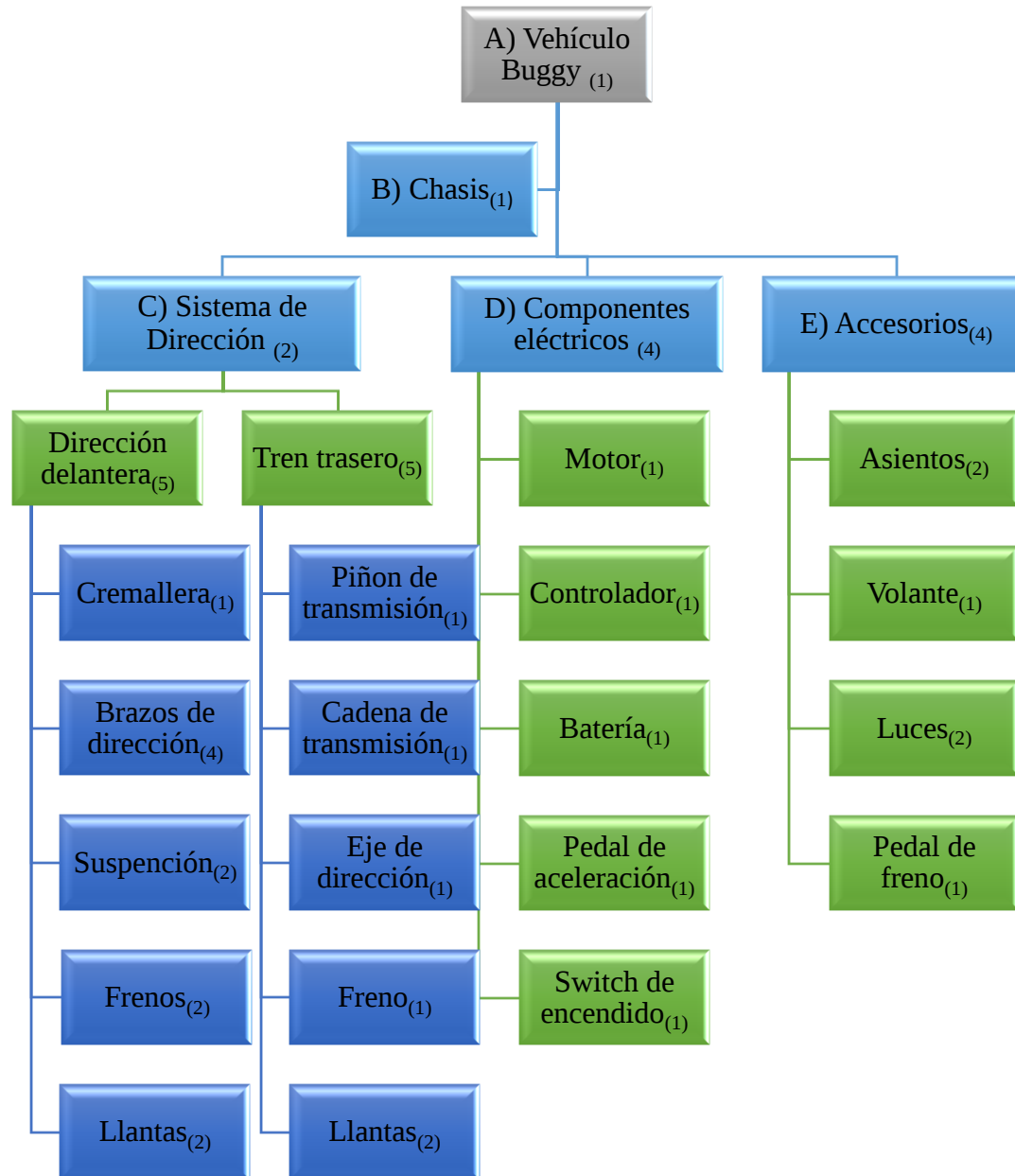
Anexo 2. Plano de la batería.



Anexo 3. Propiedades del chasis utilizando el software CAD SOLIDWORKS.



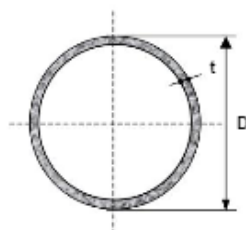
Anexo 4. Árbol de estructura del producto



NOTA: Los números entre paréntesis indican, la cantidad del componente.

Anexo 5. Tabla AISC

Tubos de acero
Sección Circular
IRAM-IAS
U 500-218
U 500-2592



D = Diámetro exterior
t = Espesor de pared
p = Área exterior por metro lineal
A = Sección bruta
g = Peso por metro lineal
I = Momento de Inercia
S = Módulo elástico resistente
r = Radio de giro
Z = Módulo plástico
J = Módulo de Torsión
C = Constante torsional

D	t	p	Ag	g	I	S	r	Z	J	C
[mm]	[mm]	[m ² /m]	[cm ²]	[Kg/m]	[cm ⁴]	[cm ³]	[cm]	[cm ³]	[cm ⁴]	[cm ⁵]
12.70	0.70	0.04	0.26	0.21	0.05	0.08	0.42	0.10	0.10	0.15
	0.90	0.04	0.33	0.26	0.06	0.09	0.42	0.13	0.12	0.18
	1.25	0.04	0.45	0.35	0.07	0.12	0.41	0.16	0.15	0.23
	1.60	0.04	0.56	0.44	0.09	0.14	0.40	0.20	0.18	0.28
15.87	0.70	0.05	0.33	0.26	0.10	0.12	0.54	0.16	0.19	0.25
	0.90	0.05	0.42	0.33	0.12	0.15	0.53	0.20	0.24	0.30
	1.25	0.05	0.57	0.45	0.15	0.19	0.52	0.27	0.31	0.39
	1.60	0.05	0.72	0.56	0.18	0.23	0.51	0.33	0.37	0.47
19.05	0.70	0.06	0.40	0.32	0.17	0.18	0.65	0.24	0.34	0.37
	0.90	0.06	0.51	0.40	0.21	0.22	0.64	0.30	0.42	0.47
	1.25	0.06	0.70	0.55	0.28	0.29	0.63	0.40	0.56	0.58
	1.60	0.06	0.88	0.69	0.34	0.35	0.62	0.49	0.67	0.71
	2.00	0.06	1.07	0.84	0.39	0.41	0.61	0.58	0.79	0.83
22.22	0.70	0.07	0.47	0.37	0.27	0.25	0.76	0.32	0.55	0.51
	0.90	0.07	0.60	0.47	0.34	0.31	0.75	0.41	0.69	0.64
	1.25	0.07	0.82	0.65	0.45	0.41	0.74	0.55	0.91	0.82

D	t	p	Ag	g	I	S	r	Z	J	C
[mm]	[mm]	[m ² /m]	[cm ²]	[Kg/m]	[cm ⁴]	[cm ³]	[cm]	[cm ³]	[cm ⁴]	[cm ⁵]
22.22	1.60	0.07	1.04	0.81	0.55	0.50	0.73	0.68	1.11	1.00
	2.00	0.07	1.27	1.00	0.66	0.59	0.72	0.82	1.31	1.18
25.4	0.70	0.08	0.54	0.43	0.41	0.33	0.87	0.43	0.83	0.67
	0.90	0.08	0.69	0.54	0.52	0.41	0.87	0.54	1.04	0.85
	1.25	0.08	0.95	0.74	0.69	0.55	0.85	0.73	1.39	1.14
	1.60	0.08	1.20	0.94	0.85	0.67	0.84	0.91	1.70	1.34
	2.00	0.08	1.47	1.15	1.01	0.80	0.83	1.10	2.03	1.60
	2.50	0.08	1.80	1.41	1.19	0.94	0.81	1.32	2.39	1.88
31.75	0.90	0.10	0.87	0.68	1.04	0.65	1.09	0.86	2.08	1.34
	1.25	0.10	1.20	0.94	1.40	0.88	1.08	1.16	2.79	1.83
	1.60	0.10	1.52	1.19	1.73	1.09	1.07	1.46	3.45	2.18
	2.00	0.10	1.87	1.47	2.08	1.31	1.05	1.77	4.15	2.62
	2.50	0.10	2.30	1.80	2.47	1.56	1.04	2.14	4.95	3.12
	3.20	0.10	2.87	2.25	2.96	1.87	1.02	2.62	5.92	3.73
38.10	0.90	0.12	1.05	0.83	1.82	0.96	1.32	1.25	3.64	1.96
	1.25	0.12	1.45	1.14	2.46	1.29	1.30	1.70	4.92	2.66
	1.60	0.12	1.83	1.44	3.06	1.61	1.29	2.13	6.12	3.35
	2.00	0.12	2.27	1.78	3.71	1.95	1.28	2.61	7.41	3.89
	2.50	0.12	2.80	2.19	4.45	2.34	1.26	3.17	8.90	4.67
	3.20	0.12	3.51	2.75	5.39	2.83	1.24	3.91	10.77	5.66
44.45	0.90	0.14	1.23	0.97	2.92	1.31	1.54	1.71	5.84	2.68
	1.25	0.14	1.70	1.33	3.96	1.78	1.53	2.33	7.92	3.66
	1.60	0.14	2.15	1.69	4.95	2.23	1.52	2.94	9.90	4.61
	2.00	0.14	2.67	2.09	6.02	2.71	1.50	3.61	12.04	5.66
	2.50	0.14	3.29	2.59	7.27	3.27	1.49	4.41	14.55	6.55
	3.20	0.14	4.15	3.26	8.87	3.99	1.46	5.46	17.75	7.98

Anexo 5. Coeficiente de adherencia según condiciones de neumaticos, piso y humedad.

Naturaleza del suelo	Coeficiente de adherencia (μa)
Carretera de cemento	0,8
Empedrado seco	0,7
Asfalto seco	0,6 – 0,75
Carretera húmeda	0,3 – 0,4
Carretera mojada	0,25
Carretera alquitranada grasosa	0,15 – 0,20
Carretera con barro	0,15
Carretera con hielo	0.08 – 0,1

Fuente: Muñoz, Francisco. Cálculo Teórico y Práctico de los elementos y grupos del vehículo Industrial y automóvil 1974.

Anexo 6. Características de fricción y presión máxima de los materiales del disco de freno.

Material	Friction Coefficient f	Maximum Pressure P_{max} , psi	Maximum Temperature		Maximum Velocity V_{max} , ft/min	Applications
			Instantaneous, °F	Continuous, °F		
Cermet	0.32	150	1500	750		Brakes and clutches
Sintered metal (dry)	0.29–0.33	300–400	930–1020	570–660	3600	Clutches and caliper disk brakes
Sintered metal (wet)	0.06–0.08	500	930	570	3600	Clutches
Rigid molded asbestos (dry)	0.35–0.41	100	660–750	350	3600	Drum brakes and clutches
Rigid molded asbestos (wet)	0.06	300	660	350	3600	Industrial clutches
Rigid molded asbestos pads	0.31–0.49	750	930–1380	440–660	4800	Disk brakes
Rigid molded nonasbestos	0.33–0.63	100–150		500–750	4800–7500	Clutches and brakes
Semirigid molded asbestos	0.37–0.41	100	660	300	3600	Clutches and brakes
Flexible molded asbestos	0.39–0.45	100	660–750	300–350	3600	Clutches and brakes
Wound asbestos yarn and wire	0.38	100	660	300	3600	Vehicle clutches
Woven asbestos yarn and wire	0.38	100	500	260	3600	Industrial clutches and brakes
Woven cotton	0.47	100	230	170	3600	Industrial clutches and brakes
Resilient paper (wet)	0.09–0.15	400	300		$PV < 500\,000$ psi · ft/min	Clutches and transmission bands

Fuente: BUDYNAS, Richard Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, México, 8va Edición 2008.

Anexo 7. Cargas admisibles en resortes.

Muelles	MUELLES
Designación y cargas admisibles El muelle es una pieza elástica que después de deformada bajo la acción de una fuerza, es capaz de realizar la misma fuerza al recobrar su posición o forma natural. Los muelles pueden ser de flexión o de torsión, estos últimos de barra o en espiral. Para el cálculo se considera: - F La carga admisible (capacidad de carga del muelle), en kg. - f La flecha elástica en cm (bajo la acción de la fuerza P). - l La longitud del muelle, en cm. - n El número de espiras. σ_{ad}, τ_{ad} La tensión de trabajo admisible. - E El módulo de elasticidad. - G El módulo de elasticidad tangencial ($G \approx 0,835 \cdot E$, para $\mu = 0,33$). Para τ_{ad} se tomará 6000 kg/cm² en cargas estáticas y 4000 kg/cm² en cargas alternativas de cero a un máximo (acero para muelles); para muelles helicoidales con carga muy variable se tomarán τ_{ad} igual a 3000 kg/cm². En muelles helicoidales de sección transversal circular, rectangular o cuadrada, para acero de muelles templado, $\tau_{ad} = 6000$ a 8000 kg/cm², y en acero sin templar, 4500 a 5000 kg/cm².	

Fuente: Larburu Nicolas, Máquinas Herramientas Prontuario, 3ra edición.

Anexo 8. Factores de seguridad.

Applications	Factor of Safety - FOS -
For use with highly reliable materials where loading and environmental conditions are not severe and where weight is an important consideration	1.3 - 1.5
For use with reliable materials where loading and environmental conditions are not severe	1.5 - 2
For use with ordinary materials where loading and environmental conditions are not severe	2 - 2.5
For use with less tried and for brittle materials where loading and environmental conditions are not severe	2.5 - 3
For use with materials where properties are not reliable and where loading and environmental conditions are not severe, or where reliable materials are used under difficult and environmental conditions	3 - 4

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/General-recommendation-for-application-usage_fig2_303517627