



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO EN VEHÍCULOS
MONOPLAZA TIPO BUGGY ENTRE MOTOR DE ENCENDIDO
PROVOCADO Y MOTOR ELÉCTRICO**

AUTORES:

**BOLAÑOS YEPEZ CHRISTOPHER FERNANDO
CRUZ MENESES DANNY SEBASTIÁN**

DIRECTOR:

ING. HERNÁNDEZ RUEDA ERIK PAÚL, MSc.

Ibarra, mayo 2021

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO EN VEHÍCULOS MONOPLAZA TIPO BUGGY ENTRE MOTOR DE ENCENDIDO

PROVOCADO Y MOTOR ELÉCTRICO”, presentado por los señores: Bolaños Yépez Christopher Fernando con número de cédula 0401868385, y Cruz Meneses Danny Sebastián con número de cedula 0401772769, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para sersometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 16 días del mes de junio del 2021

Atentamente

 Firmado electrónicamente por:
ERIK PAUL
HERNANDEZ
RUEDA

Ing. Erik Paul Hernández Rueda MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	040186838-5		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Bolaños Yépez Christopher Fernando		
DIRECCIÓN:	Calle 8 de diciembre, barrio la Calera- San Pedro de Huaca-Carchi		
EMAIL:	cfbolanosy@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	06 2 973 202	TELÉFONO MÓVIL:	0967895960

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	040177276-9		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Cruz Meneses Danny Sebastián		
DIRECCIÓN:	Calle Rubén Darío y Rafael Escalona – Ciudadela padre Carlos de la Vega – Tulcán – Carchi		
EMAIL:	dscruzsm@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0988718015

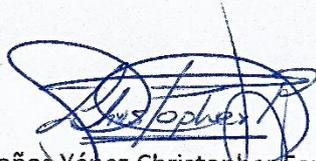
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO EN VEHÍCULOS MONOPLAZA TIPO BUGGY ENTRE MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO Y MOTOR ELÉCTRICO.
AUTOR (ES):	Bolaños Yépez Christopher Fernando Cruz Meneses Danny Sebastián
FECHA:	23/06/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Erik Paul Hernandez Rueda MSc.

2. CONSTANCIAS

El autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 23 días del mes de Junio del 2021

AUTORES:



Bolaños Yépez Christopher Fernando
040186838-5



Cruz Meneses Danny Sebastián
040177276-9

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mi madre, Mariana Yépez, quien con su amor, trabajo y sacrificio hizo de mi un hombre de bien, gracias, madre por tus alientos, por la confianza que depositaste en mí en este largo camino, eres y serás siempre mi pilar y mi fortaleza.

Christopher Fernando Bolaños Yépez

El presente trabajo de grado va dedicado a mis padres que con su apoyo, entrega y sacrificio han sido una parte fundamental en cada uno de mis logros, a mis hermanos, mis sobrinos que de una u otra manera han sido un apoyo incondicional en mi vida cuando más los necesité.

Danny Sebastián Cruz Meneses

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida que me ha brindado y por ponerme en el camino indicado para lograr este objetivo.

Quiero agradecer a mi tía, Sonia Yépez, a mi abuela, Elvia Yépez, mis segundas madres, gracias por sus consejos, por su apoyo incondicional en todo el trayecto de mi vida estudiantil.

A mi papá, Fernando Bolaños, a mi hermana, Janeth Bolaños, sus palabras de aliento a pesar de la distancia siempre mantuvieron en mí los ánimos de continuar y no darme por vencido.

Agradezco a una persona muy especial, Samantha Benavides, tomaste mi mano desde hace mucho tiempo y lo sigues haciendo hoy en día, eres una de las razones por las cuales doy lo mejor de mí, gracias por tu compañía y por el amor que me has brindado en este largo camino.

Agradezco a todos los docentes de mi carrera especialmente al Msc. Paul Hernández por sus conocimientos impartidos a lo largo de mi formación académica y por su gran colaboración en la elaboración de este proyecto.

Christopher Fernando Bolaños Yépez

Quiero agradecer de manera especial a la Universidad Técnica del Norte, a la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz a sus docentes que fueron parte de mi formación profesional.

Agradezco de manera especial a mis padres, José Cruz y Sandra Meneses, quienes me apoyaron en cada momento durante todo este proceso, también por sus consejos y ánimos para llegar a este gran objetivo.

Danny Sebastián Cruz Meneses

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
INTRODUCCIÓN	xxi
CAPÍTULO I	1
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Situación actual	1
1.3. Prospectiva	2
1.4. Planteamiento del problema	3
1.5. Formulación del problema	3
1.6. Delimitación	4
1.6.1. Delimitación temporal	4
1.6.2. Delimitación espacial	4
1.7. Objetivos	4
1.7.1. Objetivo general	4
1.7.2. Objetivos específicos	4
1.8. Alcance	4
1.9. Justificación	5
1.10. Tipos de investigación	5
1.10.1. Investigación transversal	6
1.10.2. Investigación bibliográfica	6
1.11. Historia del vehículo buggy	6
1.12. El buggy	6
1.13. Tipos de buggies	7
1.13.1. Buggy monoplaza	7
1.13.2. Buggy Biplaza	7
1.13.3. Buggy tipo Car Cross	8

1.13.4. Buggy tipo Monocasco	8
1.14. El motor de combustión interna	9
1.14.1. Clasificación según el proceso de combustión	9
1.14.1.1. Motores de encendido provocado (MEP) o motores Otto	9
1.14.1.2. Motores de encendido por compresión (MEC) o motores diésel	10
1.14.2. Clasificación según el número de carreras en el ciclo de trabajo	10
1.14.2.1. Motores alternativos de cuatro tiempos	10
1.14.2.2. Motores alternativos de dos tiempos	11
1.15. Motores eléctricos	12
1.15.1.1. Motores eléctricos de imanes permanentes	12
1.15.1.2. Motor de corriente alterna (AC)	13
1.15.1.3. Motores de inducción asíncrona	14
1.15.1.4. Motor síncrono	14
1.15.2. Baterías	14
1.15.2.1. Batería plomo ácido	14
1.15.2.2. Batería de níquel Hidruro metálico (NiMH)	16
1.15.2.3. Batería de Ion litio	16
1.16. Software de diseño CAD	17
1.17. El dinamómetro	18
1.17.1. Dinamómetro de motor	18
1.17.2. Dinamómetro de chasis	19
1.18. Controladores eléctricos	19
1.18.1. Controlador eléctrico por PWM	20
1.18.2. Controlador eléctrico por PLC	20
1.19. Fórmula SAE o <i>Formula Student</i>	21
1.19.1. Bastidor tubular	22
CAPÍTULO II	23
2. MATERIALES Y MÉTODOS	23
2.1. Materiales y equipos	23
2.1.1. Motor eléctrico	23
2.1.1.1. Especificaciones técnicas	23
2.1.2. Motor de encendido provocado	24
2.1.3. Construcción del bastidor	24
2.1.3.1. Suelta	24
2.1.3.2. Tubo estructura redondo	26
2.1.4. Construcción de la suspensión	26
2.1.4.1. Brazos de la suspensión	26
2.1.4.2. Rockers	26
2.1.4.3. Amortiguadores	27

2.1.4.4. Rótulas	27
2.1.4.5. Aros y Neumáticos	28
2.1.4.6. Plancha	28
2.1.5. Dirección mecánica de cremallera	29
2.1.6. Freno de tambor	29
Batería	29
2.1.8. Contactor de línea	30
2.1.9. Potenciómetro 10 kilo ohms	30
2.1.10. Fusible de potencia	31
2.1.11. Módulo seleccionado para la aceleración del buggy eléctrico (sigma drive PMT445M)	31
2.1.12. Diagrama del módulo de aceleración (sigma drive PMT445M)	33
2.1.13. Dinamómetro	33
2.1.14. Software de diseño CAD	34
2.2. Metodología	34
2.2.1. Métodos investigativos	36
2.2.2. Método histórico lógico	36
2.2.3. Método de diseño del bastidor	36
2.2.3.1. Distribución de tubos	36
2.2.4. Distribución de masas principales en el chasis	37
2.2.4.1. Ensamble del bastidor	38
2.2.5. Metodología de la construcción de la suspensión	39
2.2.5.1. Análisis de cargas presentes en el sistema de suspensión	40
2.2.5.2. Geometría de la suspensión	41
2.2.5.3. Determinación de las fuerzas en los brazos de la suspensión con la utilización de Solid Works	43
2.2.5.4. Sistema de tracción	47
2.2.6. Fuente de alimentación del motor eléctrico Baterías	49
2.2.6.1. Cálculos en función de la potencia del motor	50
2.2.7. Módulo controlador de la velocidad	52
2.2.8. Diseño del circuito y procedimiento de instalación	52
2.2.8.1. Adaptación pedal de aceleración	54
2.2.9. Diagnóstico del monoplaza tipo buggy con motor de combustión interna	55
2.2.10. Preparación previa del vehículo tipo buggy para pruebas en el dinamómetro inercial	56
2.2.11. Ejecución de pruebas y toma de medidas	56
2.2.12. Cálculo del par motor	57
CAPÍTULO III	58
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
3.1. Obtención de datos	58
3.2. Datos generales del buggy de combustión interna obtenidos en las pruebas de dinamómetro	59

3.3.	Datos generales del buggy eléctrico obtenidos en las pruebas del dinamómetro	59
3.4.	Comparación de curvas par motor y potencia, buggy de encendido provocado vs buggy con motor eléctrico	60
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
4.1.	CONCLUSIONES	63
4.2.	RECOMENDACIONES	64
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
	ANEXOS	69

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.	PÁGINA
1.1 Buggy Clásico	6
1.2 Buggy Monoplaza	7
1.3 Buggy Biplaza	8
1.4 Buggy Car Cross	8
1.5 Buggy tipo monocasco	9
1.6 Motor ciclo Otto	9
1.7 Motor de ciclo Diésel	10
1.8 Ciclo teórico de funcionamiento de un motor diésel de cuatro tiempos	11
1.9 Fases de un motor de 2 tiempos	12
1.10 Estructura del motor de imanes permanentes	13
1.11 Partes principales de motor eléctrico AC trifásico de inducción	13
1.12 Batería de plomo-ácido	15
1.13 Partes de batería Pb-Ácido	15
1.14 Batería NiMH	16
1.15 Elementos que conforman la batería Ion-Litio	17
1.16 Dinamómetro de motor	18
1.17 Dinamómetro de chasis LPS 3000 con sus componentes	19
1.18 Señales PWM	20
1.19 Controlador electrónico PLC	21
1.20 Bosquejo Formula Student	21
1.21 Bastidor tubular	22
2.1 Motor eléctrico	23
2.2 Motor 1 “Fx”	24

2.3 Suelta	25
2.4 Diagrama conexión módulo de aceleración	33
2.5 Distribución de tubos y centro de gravedad	36
2.6 Distribución de masas principales	38
2.7 Piso bastidor	38
2.8 Subestructuras principales	38
2.9 Bastidor Tubular	39
2.10 Suspensión push-road	42
2.11 Montaje suspensión	42
2.12 Análisis estructural de la tijera inferior delantera	45
2.13 Análisis estructural de la tijera superior delantera	45
2.14 Análisis estructural de a tijera inferior trasera	46
2.15 Análisis estructural de la tijera superior trasera	47
2.16 Piñones de tracción	47
2.17 Curvas motor Manta	48
2.18 Configuración baterías serie/paralelo	51
2.19 Configuración baterías en serie	51
2.20 Conexión del circuito de potencia	52
2.21 Conexión módulo de aceleración	54
2.22 Pedal de aceleración con potenciómetro	54
2.23 Instalación y sustitución del potenciómetro de aceleración	55
2.24 Anclaje de vehículos	56
3.1 Comparativa curva de potencia buggy eléctrico-buggy combustión	60
3.2 Comparativa curva de par motor buggy eléctrico-buggy combustión	61

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.	PÁGINA
2.1 Especificaciones motor manta	23
2.2 Especificaciones técnicas motor de combustión interna	24
2.3 Ficha técnica suelda	25
2.4 Especificaciones tubo redondo	26
2.5 Especificaciones de tubo redondo brazos de suspensión	26
2.6 Especificaciones Rocker de “suspensión push rod”	27
2.7 Tipos de amortiguadores	27
2.8 Especificaciones técnicas rotulas	27
2.9 Especificaciones aro y neumático	28
2.10 Especificaciones Plancha	28
2.11 Características dirección de cremallera	29
2.12 Características Zapatas	29
2.13 Especificaciones batería	30
2.14 Características Contactor de línea	30
2.15 Características potenciómetro	30
2.16 Características fusible de potencia	31
2.17 Características sigma drive PMT445M	31
2.17 Características sigma drive PMT445M (Continuación...)	32
2.18 Ficha técnica dinamómetro	34
2.19 Dimensiones, colores y diámetros utilizados	37
2.20 Masas principales en el bastidor	37
2.21 Cálculo distribución de masas en el vehículo	40
2.21 Cálculo distribución de masas en el vehículo (Continuación...)	41

2.22 Medidas de la suspensión	43
2.23 Cálculo transferencia de masas	43
2.24 Diámetro de la rueda	48
2.25 Longitud de la circunferencia	48
2.26 Velocidad	48
2.26 Velocidad (Continuación...)	49
2.27 Descripción Baterías	50
2.28 Conexión de terminales	53
2.29 Diagnostico motor de combustión interna	55
2.30 Ecuación calculo par motor	57
3.1 Comparativa general pruebas dinamométricas buggy de combustión interna	59
3.2 Comparativa general pruebas dinamométricas buggy eléctrico	59

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN NÚM.	PÁGINA
2.1 Cálculo distribución de masas en el vehículo, eje delantero	40
2.2 Cálculo distribución de masas en el vehículo, eje posterior	40
2.3 Cálculo antivuelco	41
2.4 Cálculo transferencia de masa en frenada	43
2.5 Cálculo desaceleración en frenada	43
2.6 Transferencia de masa en frenada	44
2.7 Carga generada eje delantero	44
2.8 Transferencia de masa en curva	44
2.9 Masa en la curva	44
2.10 Transferencia de masa a cada rueda en curva	44
2.11 Cálculo del diámetro de la rueda, perfil altura	48
2.12 Cálculo del diámetro de la rueda, diámetro total	48
2.13 Cálculo de la longitud de la circunferencia	48
2.14 Cálculo de la velocidad	49
2.15 Distancia recorrida	49
2.16 Cálculo capacidad de la batería	51
2.17 Cálculo capacidad de la batería, voltaje máximo	51
2.18 Cálculo de la potencia del motor	57
2.19 Cálculo del torque del motor	57

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.	PÁGINA
1 Planos y construcción Buggy Eléctrico	69
2 Pruebas en el dinamómetro	75
3 Resultados pruebas buggy con motor eléctrico	76
4 Resultados pruebas buggy con motor de combustión interna	81
5 Cálculo suspensión	86

GLOSARIO DE TÉRMINOS

CO₂: Monóxido de Carbono

CO: Dióxido de Carbono

HC: Hidrocarburos no combustionados

SAE: Society of Automotive Engineers

CAD: Computer Aided Design

PLC: Programmable Logic Controller

RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo principal, analizar el desempeño de vehículos monoplace tipo Buggy mediante un estudio comparativo entre un motor eléctrico y un motor de encendido provocado de baja cilindrada (200 cc), para lo cual se diseñó y construyó una estructura monoplace tipo Buggy acoplada a un motor eléctrico Manta de 10 hp. Se consideró la normativa *SAE formula Student*, con la ayuda del software computacional, diseño asistido por ordenador (CAD), denominado SOLIDWORKS, para el diseño y construcción del bastidor tubular, con la finalidad de proporcionar seguridad al piloto y sus elementos, además el sistema de aceleración electrónica se programó empleando modulación por ancho de pulso (PWM), el cual es utilizado en motores eléctricos de corriente continua DC, y de esta manera tener un mejor desempeño. A fin de determinar los valores de la potencia y torque a través del método de aceleración libre de los dos vehículos monoplace tipo Buggy y así poder realizar una comparativa, se empleó un dinamómetro automotriz de marca Vamag, italiana, disponible en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Automotriz, de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, de la Universidad Técnica del Norte, en dicha comparativa se realizó cinco pruebas para cada vehículo, se tuvo en cuenta los siguientes parámetros: la relación de transmisión a la rueda, el peso y la caja de cambios, obteniendo así, que el primer vehículo tipo buggy con motor eléctrico de baja cilindrada marcó una potencia máxima de 5.85 hp y un torque máximo de 14 Nm, mientras que el segundo buggy con motor de combustión interna alcanzó una potencia máxima de 4.3 hp y un torque máximo de 10.2 Nm. El buggy con motor eléctrico genera un 24.08% de torque y un 19.79% mayor de potencia que el buggy con motor de combustión interna.

ABSTRACT

The main objective of this degree project is to analyze the performance of single-seater Buggy-type vehicles through a comparative study between an electric motor and a low-displacement (200 ccs) provoked-ignition engine, for which a single-seater structure was designed and built. Buggy type coupled to a Manta 10 hp electric motor. The *SAE formula Student* standard was considered, with the help of computer software, computer-aided design (CAD), called SOLIDWORKS, for the design and construction of the tubular frame, to provide safety to the pilot and his elements, in addition to the system of electronic acceleration was programmed using pulse width modulation (PWM), which is used in electric motors of direct current DC, and in this way have a better performance. To determine the power and torque values through the free acceleration method of the two single-seater Buggy-type vehicles and thus be able to make a comparison, an Italian Vomag brand automotive dynamometer was used, available in the laboratories of the Carrera de *Ingeniería Automotriz, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas*, of the North Technical University, in this comparison, five tests were carried out for each vehicle, the following parameters were taken into account: the transmission ratio to the wheel, the weight, and the gearbox, thus obtaining that the first buggy-type vehicle with a low-displacement electric motor had a maximum power of 5.85 hp and a maximum torque of 14 Nm, while the second buggy with an internal combustion engine reached a maximum power of 4.3 hp and a maximum torque of 10.2 Nm. The electric motor buggy generates 24.08% torque and 19.79% more power than the internal combustion engine buggy.

INTRODUCCIÓN

Con la creación del primer motor de combustión interna las variantes han crecido a lo largo del tiempo manteniéndose como un factor común el uso de combustibles fósiles, la importancia de este último radica en lo perjudicial que es para el medio ambiente y para la salud de las personas, es por ello que nace la necesidad de dejar atrás la dependencia de este tipo de combustibles. La investigación se fundamenta en el objetivo Nro.3 del Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida, el cual afirma: “Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global” (Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida, 2017, pág. 57).

Una opción muy confiable que poco a poco va ganando terreno es la utilización de motores eléctricos que utilizan como fuente de alimentación energía eléctrica almacenada en recipientes (baterías), se plantean varias preguntas en torno a la eficiencia, consumo, rendimiento entre estos dos tipos de motores (eléctrico, combustión interna). Existen varios parámetros que se toman en cuenta para responder a dichas preguntas como por ejemplo la estructura del vehículo y su peso, la materia prima juega un papel importante en el momento de la construcción de un vehículo independientemente del tipo que sea, actualmente el uso de software CAD permite al usuario diseñar, insertar el tipo de material y simular una estructura lo cual es un punto muy importante a la hora de la construcción ahorrando precios y sobre todo tiempo.

Cada vehículo con motor ya sea eléctrico o de combustión interna entrega diferentes magnitudes de las cuales las más importantes son el torque y la potencia, el instrumento responsable de medir dichas fuerzas es un dinamómetro automotriz que entrega datos exactos en forma de curvas las cuales se pueden comparar para finalmente llegar a una conclusión precisa del desarrollo de un vehículo, proponiendo así, datos verificables que pueda ser tomados en cuenta por futuras generaciones de investigadores para realizar su respectivo aporte.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes

Con el pasar de los años, el adelanto en cuanto a tecnología ha ayudado de gran manera para la reducción de contaminación en el planeta, como parte de esta solución casas automotrices han optado por crear nuevos sistemas de inyección, combustibles menos contaminantes, vehículos híbridos y eléctricos, afrontando así la responsabilidad de la armonización con el medio ambiente para así tener un planeta más limpio y contrarrestar los efectos del calentamiento global (Chuquiana, 2014, pág. 1).

Una de las principales preocupaciones que se han presentado en la industria automotriz es la innovación eficiente, segura y limpia. El principal recurso en la movilidad automotriz se relaciona al uso de combustibles fósiles. Es necesario mejorar tanto la promoción del transporte colectivo como la protección de otras alternativas no contaminantes, minimizando el uso del vehículo privado o motor. Por otra parte, este último debería abandonar cuanto antes su dependencia del combustible fósil, para lo que se necesita acelerar el despliegue de la infraestructura para el vehículo eléctrico (Cámara, 2015).

El funcionamiento de los vehículos eléctricos está ligado a la utilización de baterías, siendo estas su fuente de energía, cuando el vehículo eléctrico está en reposo no consume energía lo cual incrementa su eficiencia en comparación con un motor de combustión interna, ya que, el mismo consume energía en estado de ralentí, la necesidad por introducir fuentes de energías limpias en el mercado ha hecho que los vehículos eléctricos sean una fuente sustentable y sostenible por implementar.

“La disposición para adoptar vehículos eléctricos está asociada con las características de rendimiento, los beneficios percibidos de conducir y el respaldo de políticas para el impulso de vehículos eléctricos” (Sovacool, Abrahamse, Zhang, & Ren, 2019).

1.2. Situación actual

Los vehículos ayudan a movilizar a millones de personas diariamente, el funcionamiento de los mismos se basa en la combinación de aire/combustible (gasolina o diésel) que a través de procedimientos térmicos en el interior del motor se genera una reacción química que produce

diferentes tipos de gases como el CO₂ (monóxido de carbono), CO (dióxido de carbono), HC (hidrocarburos no combustionados), todo esto gracias a la utilización de combustibles fósiles, los mismos que según; (Kalghatgi, 2019), “anualmente han alcanzado 4.900 millones de litros de gasolina y diésel al año, en donde las proyecciones dentro de 50 años establecen que la demanda energética y el creciente aumento poblacional aumentarán la demanda”. Se puede establecer que, si la demanda de combustibles aumenta con el pasar de los años, la contaminación producida por los mismos aumentará proporcionalmente.

Los vehículos híbridos sirven como eslabón en la aplicación de vehículos eléctricos. Actualmente, existen diferentes tipos de investigaciones que plantean nuevas tecnologías utilizando dichos vehículos, generando así la posibilidad de contrarrestar la demanda energética que se produce por la utilización de combustibles fósiles, de igual manera no existen estudios comparativos que proporcionen un análisis profundo del desempeño real de torque y potencia entre motores de encendido provocado y motores eléctricos en diferentes condiciones de desempeño.

De igual forma se podría mencionar que en el territorio ecuatoriano la comercialización de vehículos eléctricos de entretenimiento es limitado, debido a la cierta duda de rendimiento en torno a los motores eléctricos, la materia prima y el diseño de estos, haciendo necesario un cambio de pensamiento colectivo, partiendo desde el punto de vista investigativo para el desarrollo de un vehículo de entretenimiento limpio, eficiente y seguro.

1.3. Prospectiva

El presente proyecto de tesis se basa en la utilización de prototipos tipo buggy en el medio, de igual manera investigar el desempeño de torque y potencia realizando una comparativa usando un motor de encendido provocado y un motor eléctrico aplicado en este tipo de vehículos, proponiendo así, una conclusión verificable que pueda ser tomada en cuenta por futuras generaciones de investigadores para realizar su respectivo aporte.

Dentro de este proyecto se busca, además, realizar un cambio de la matriz energética, dejando atrás energías que se sustentan a base de combustibles fósiles utilizando la energía eléctrica, por lo que se considera apropiada la construcción de este vehículo tipo buggy.

Por último, una vez realizado el proyecto se evaluarán mejoras respecto a los métodos y procedimientos necesarios para la construcción de vehículos recreativos o de entretenimiento, en temas como materia prima y diseño.

1.4. Planteamiento del problema

Los motores de combustión interna utilizados en el campo automotriz requieren de la utilización de combustibles fósiles derivados del petróleo como la gasolina o el diésel para efectuar la combustión en el interior del cilindro. Lamas, G; Rodríguez, V; & Rodríguez, G (2013) afirman que “El proceso de combustión influye notablemente en el rendimiento del motor y la emisión de contaminantes”. Actualmente los sistemas de inyección para vehículos tanto a gasolina como diésel han avanzado y no se puede dejar de lado la utilización de la misma matriz energética dependiente de combustibles fósiles que durante siglos ha perjudicado al ambiente y a la salud humana. (Holmberg & Erdemir, 2019) afirma que “la utilización de combustibles fósiles en los vehículos alrededor del mundo representa casi el 30%, y de eso, alrededor de un tercio se pierde debido a la fricción y el desgaste en muchas partes móviles de vehículos”. Se puede decir entonces que los vehículos de encendido provocado son menos eficientes que otro tipo de vehículos, como por ejemplo los eléctricos, dado que “El tren motriz eléctrico es más eficiente debido a las bajas pérdidas térmicas y la baja fricción por la falta de partes recíprocas y las altas presiones” (Kalghatgi, 2019).

En el Ecuador como en otros países latinoamericanos se dedican a la extracción y exportación de materia prima la cual sirve para la elaboración de productos en el exterior, dichos productos retornan a precios sobrevalorados a la mano del consumidor, no hay ningún impulso por crear una industria local que oferte productos de entretenimiento recreativo haciendo el uso de tecnologías sustentables como la energía eléctrica, debido a las pocas investigaciones existentes que permitan dar un adecuado proceso o utilización de la materia prima para la elaboración de productos que impulsen al comercio local.

El proyecto puesto en consideración implementará un análisis que permita identificar el desempeño de vehículos que utilizan motor encendido provocado en comparación con vehículos que utilicen motores eléctricos, además de incentivar a las personas a elaborar este tipo de vehículos a gran escala utilizando métodos adecuados en el uso de la materia prima generando la oportunidad de adentrarse a la industria local automotriz.

1.5. Formulación del problema

¿Cómo comprobar el desempeño en vehículos monoplaza tipo Buggy entre motor de encendido provocado y motor eléctrico con el fin de comparar los resultados obtenidos en relación con su torque y potencia?

1.6. Delimitación

El presente proyecto de titulación cuenta con las siguientes delimitaciones:

1.6.1. Delimitación temporal

El presente proyecto de titulación tuvo lugar desde el mes de septiembre del 2019, al mes de mayo del 2021.

1.6.2. Delimitación espacial

El proyecto de titulación se llevó a cabo en los talleres de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica del Norte, sector campus ciudadela universitaria, ubicado en la ciudad de Ibarra.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Analizar el desempeño de vehículos monoplaza tipo Buggy mediante un estudio comparativo entre motor eléctrico y un motor de encendido provocado.

1.7.2. Objetivos específicos

- Ensamblar la estructura monoplaza tipo Buggy con motor eléctrico.
- Obtener datos del desempeño en los vehículos monoplazas tipo Buggy propulsados por un motor eléctrico y un motor encendido provocado.
- Analizar comparativamente los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en los vehículos monoplazas tipo Buggy con motor eléctrico y motor de encendido provocado.

1.8. Alcance

El presente proyecto tiene como finalidad obtener datos representativos reales de las curvas de torque y potencia tanto de un motor de combustión interna como de uno eléctrico con la finalidad de realizar una comparación y determinar criterios de eficiencia y rendimiento entre dichos motores, para poder desarrollar este proyecto se incluye:

Una etapa de construcción de la estructura monoplaza que acoplará el motor eléctrico de marca Manta de 10hp considerando la normativa SAE *formula Student* desarrollado con la ayuda de un software computacional (CAD) denominado SOLIDWORKS, de igual manera contará con un sistema de aceleración electrónica programado en PWM que permitirá un mejor

desempeño del vehículo pudiendo así desplazarse sin dificultades sobre terrenos regulares con superficie de tierra, asfalto o cemento.

Una etapa final de pruebas la cual se realizarán en dos monoplazas, el primer monoplaza contará con un motor de encendido provocado de baja cilindrada (200cc) y el segundo vehículo monoplaza contará con un motor eléctrico "Manta" (10 hp), los resultados se los obtendrán de manera cuantitativa, los mismos que serán entregados por un dinamómetro, los instrumentos de medición utilizados se encuentran en el laboratorio de automotriz de la Universidad Técnica del Norte.

1.9. Justificación

Por medio de este proyecto se busca profundizar el estudio de motores eléctricos, su accionamiento, rendimiento y cuáles son sus ventajas sobre los motores de combustión interna para lo cual esta investigación se delimitará a la obtención de datos representativos (potencia, torque), que establezcan dichas ventajas en la aplicación de vehículos recreativos. Es importante mencionar que desde hace varios años se viene implementando una política denominada cambio de matriz energética, dejando atrás fuentes de energía basadas en hidrocarburos las cuales representan un costo elevado y son responsables de contaminar el ambiente, es por eso que se considera oportuno la construcción y análisis de este tipo de vehículo recreativo.

Este proyecto será un gran paso para que la industria nacional opte por comercializar vehículos y sus diferentes partes. Con esta idea se realizarán prototipos de modelos de vehículos de recreación que opten por utilizar energías limpias como lo son la energía eléctrica dejando atrás vehículos recreativos que utilizan combustibles fósiles, utilizando un método adecuado para la selección y utilización de materia prima.

La investigación se fundamenta en el objetivo Nro.3 del Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida, el cual afirma: "Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global" (Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida, 2017, pág. 57).

1.10. Tipos de investigación

El proyecto en mención se desarrolló, presentó y ejecutó, utilizando diferentes metodologías mencionadas a continuación:

1.10.1. Investigación transversal

La aplicación de la metodología en la investigación trasversal permitió determinar un lapso, para la realización de este proyecto se consideró una respectiva altitud sobre el nivel del mar y un solo horario en la ejecución de las pruebas dinámicas aplicadas a los dos vehículos tipo Buggy.

1.10.2. Investigación bibliográfica

El estudio bibliográfico radica en tomar información relevante de trabajos ya realizados con anterioridad, pero que son de uso público y tienen correlación con el presente proyecto de titulación.

1.11. Historia del vehículo buggy

Históricamente aparecieron a mediados de los años 50, su origen proviene del estado de California, EE. UU., inicialmente estos vehículos eran fabricados de manera personal como un pasatiempo a partir de modelos de vehículos ya distribuidos en el mercado.



Figura 1.1 Buggy Clásico
(Pauta & Villacís, 2012, pág. 6)

En Ecuador la fabricación de estos vehículos se ha enfocado en los campeonatos de 4x4 con motores de combustión interna que ofrecen grandes torques. Los vehículos monoplazas para competencias de rally, en los últimos años han empezado a aparecer en el país a través de proyectos que abarcan la investigación, diseño y cálculo de las partes que lo conforman con la finalidad de reducir costo de fabricación y materiales.

1.12. El buggy

Un buggy es un vehículo diseñado para desplazarse en diferentes tipos de terreno como tierra, asfalto o cemento y arena. Los primeros buggies fueron construidos a partir de vehículos

puestos en el mercado, hoy existen buggies tanto basados en modelos de producción como totalmente artesanales.

Los buggies están pensados principalmente para personas que disfrutan con la conducción y/o diseño de este tipo de vehículos. También pueden ser empleados para trabajar en el campo, cuando se les proporciona una suspensión reforzada. La disposición del motor es trasera al igual que la tracción. Esta configuración le confiere actitudes de sobre viraje. Actualmente se están creando modelos con tracción a las 4 ruedas y versiones de 2 o 4 plazas (Espín, 2012).

1.13. Tipos de buggies

Existen diferentes tipos de buggies y estos se clasifican según el tipo de bastidor, el número de pasajeros, su aplicación y el tipo de suelo que va a recorrer, entre los cuales tenemos:

1.13.1. Buggy monoplaza

Este tipo de vehículos están preparados para turismo o competencia por terrenos agraviados de muchas dificultades técnicas, su capacidad es para una persona. Son fabricados en estructura tubular debido que su chasis es más seguro teniendo una alta relación rigidez-peso. Sus dimensiones son menores, lo cual provoca ser un vehículo liviano, produciendo una conducción más agresiva y cómoda (Pauta & Villacís, 2012).



Figura 1.2 Buggy Monoplaza

(Pauta & Villacís, 2012, pág. 6)

1.13.2. Buggy Biplaza

A diferencia de buggy monoplaza está diseñado para dos personas lo cual lo hace pesado necesitando así de un motor de mayor cilindrada (Pauta & Villacís, 2012).



Figura 1.3 Buggy Biplaza

(Pauta & Villacís, 2012, pág. 6)

1.13.3. Buggy tipo Car Cross

Este tipo de buggy se caracteriza por ser diseñado exclusivamente para competencias en terrenos como el asfalto y la arena, su dimensionamiento es bajo, utilizando así motores de baja cilindrada adecuados para el uso de una sola persona (Pauta & Villacís, 2012).



Figura 1.4 Buggy Car Cross

(Pauta & Villacís, 2012, pág. 6)

1.13.4. Buggy tipo Monocasco

El monocasco, también conocido con el nombre de carrocería autoportante, debido a que la chapa externa del vehículo soporta la mayoría de la carga estructural del vehículo. “La primera marca en comercializarlos fue Volkswagen. Su utilización está limitada para terrenos con superficies planas, debido que está diseñado como vehículo de turismo” (Pauta & Villacís, 2012).



Figura 1.5 Buggy tipo monocasco

(Pauta & Villacís, 2012, pág. 7)

1.14. El motor de combustión interna

El motor de combustión interna es el encargado de transformar la energía térmica que le proporciona el combustible en energía mecánica. Estos motores se llaman de combustión interna porque realizan su trabajo en el interior de una cámara cerrada mediante la aportación del calor producido al quemarse el combustible. En este caso la presión de los gases de la combustión y el calor generado en el interior, provocan el movimiento de un mecanismo que se aprovechará como fuente de energía (Gil, 1999, pág. 8).

Según (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2011), “Este tipo de motores son los más importantes en automoción, fundamentalmente, porque usan combustibles líquidos con alto poder calorífico, lo que les otorga una gran autonomía”.

1.14.1. Clasificación según el proceso de combustión

1.14.1.1. Motores de encendido provocado (MEP) o motores Otto

El motor de ciclo otto o motor a gasolina adquiere energía mecánica directamente de la energía del combustible. La explosión del combustible mediante una chispa genera la expansión del gas y el movimiento del pistón, produciendo el movimiento del vehículo.



Figura 1.6 Motor ciclo Otto

(Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2011, pág. 16)

1.14.1.2. Motores de encendido por compresión (MEC) o motores diésel

Los motores diésel se asemejan a los de gasolina en muchos aspectos. La apariencia del motor diésel es casi igual que la del motor de gasolina y a primera vista las partes interiores son muy similares; sin embargo, una observación más atenta revelará que la mayoría de las partes internas son más fuertes y pesadas, con el objetivo de que soporten las presiones mayores creadas dentro del motor diésel. Las diferencias más importantes entre los dos motores son los sistemas de ignición o encendido y el combustible (Dagel, 1995, pág. 11).



Figura 1.7 Motor de ciclo Diésel

(Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2011, pág. 16)

El motor diésel es un motor de encendido por compresión que utiliza bomba de inyección de combustible e inyectores.

1.14.2. Clasificación según el número de carreras en el ciclo de trabajo

Los ciclos termodinámicos en motores de combustión interna alternativos otto y diésel se pueden realizar en dos o en cuatro carreras del pistón.

1.14.2.1. Motores alternativos de cuatro tiempos

Los motores alternativos de cuatro tiempos realizan un ciclo de trabajo por cada cuatro carreras del pistón y, por tanto, cada dos revoluciones o vueltas del cigüeñal.

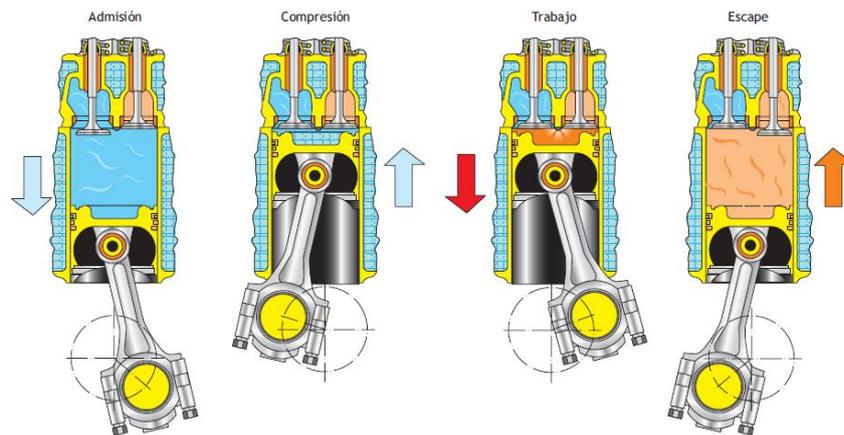


Figura 1.8 Ciclo teórico de funcionamiento de un motor diésel de cuatro tiempos

(Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2011, pág. 79)

Durante las cuatro carreras del cilindro el motor realiza el siguiente proceso:

- Primer tiempo o admisión.
- Segundo tiempo o compresión.
- Tercer tiempo o expansión.
- Cuarto tiempo o escape.

1.14.2.2. Motores alternativos de dos tiempos

En los motores alternativos de dos tiempos el ciclo de trabajo se realiza cada dos carreras del pistón y, por tanto, en una revolución o vuelta de cigüeñal. Su uso se justifica en motores de pequeña potencia por su sencillez constructiva y, por tanto, por su valor más económico. Estos motores suelen ser de ciclo otto. En cambio, la configuración típica para grandes potencias es como la del motor diésel de dos tiempos trabajando a bajas revoluciones. Esta solución se adopta debido a que el peso de un motor de igual potencia de cuatro tiempos sería muy elevado, pero la realidad es que debido a la gran potencia que pueden desarrollar y a su posible tamaño, estos motores pueden ser muy complejos, incluso más que los de cuatro tiempos (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2011).

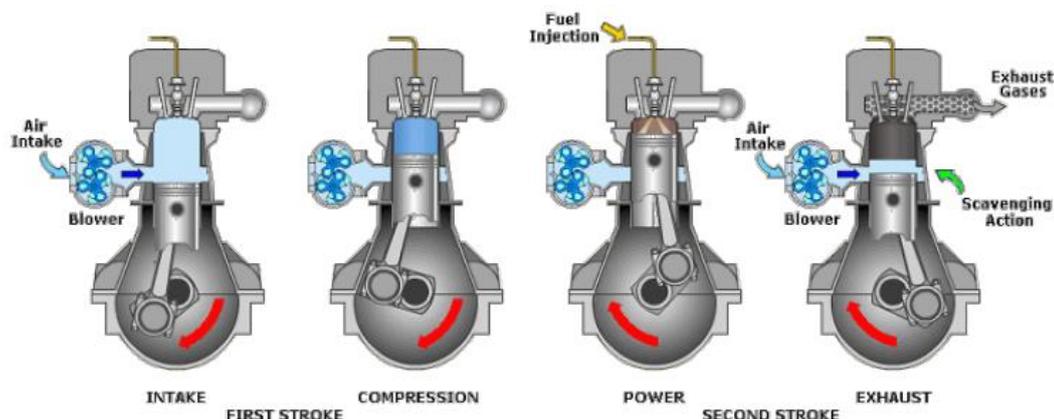


Figura 1.9 Fases de un motor de 2 tiempos

(Domingo, 2014, pág. 17)

1.15. Motores eléctricos

En los sistemas de propulsión eléctrica el motor eléctrico está encargado de transformar la energía eléctrica en energía mecánica para luego ser transmitida a las ruedas motrices y de esta manera realizar el movimiento del autobús eléctrico. Los motores eléctricos cuentan con pares elevados a bajas velocidades, en cambio a altas velocidades su par es reducido. Los motores eléctricos introducidos en el campo automotriz en la actualidad pueden ser de corriente alterna (AC) o corriente continua (DC) (Díaz, 2019).

1.15.1.1. Motores eléctricos de imanes permanentes

Este tipo de motor cuenta con un rotor con imanes permanentes y gracias a ello se elimina la necesidad de tener un bobinado y escobillas en el rotor. Mediante el campo magnético generado entre el bobinado del estator y el rotor se genera el par de rotación. Las ventajas de este tipo de motor son las siguientes: alta densidad de potencia, bajo costo de mantenimiento, disipación térmica adecuada, peso reducido y potencia constante. Del mismo modo, las desventajas están presentes y son las siguientes: costos de fabricación elevados, no permite altas velocidades y las altas velocidades reducen la eficiencia (Díaz, 2019).

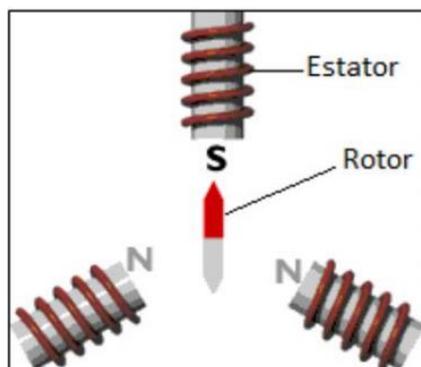


Figura 1.10 Estructura del motor de imanes permanentes

(Chuquiana, 2014, pág. 33)

La estructura interna de este tipo de motor está compuesta por imanes permanentes además de un rotor y un estator, en donde el estator viene a ser un elemento fijo y el rotor es el elemento que adquiere movimiento, por lo tanto, se puede decir que estos elementos podrían dar movimiento a los neumáticos en un vehículo.

1.15.1.2. Motor de corriente alterna (AC)

Según (Contreras & Sánchez, 2010), “Este tipo de motores posee tres partes principales: el rotor, el estator (*stator*) y el recinto (*enclosure*)”.

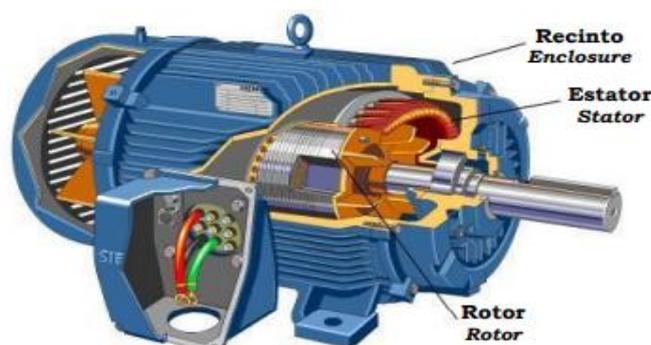


Figura 1.11 Partes principales de motor eléctrico AC trifásico de inducción

(Contreras & Sánchez, 2010, pág. 79)

Cuando se suministra la electricidad al estator del motor, se genera el campo magnético necesario para que el rotor pueda girar. El estator en su construcción se encuentra dentro de una carcasa donde se realizan las conexiones mediante una caja de bornes. Se compone de varios arrollamientos separados que crean el campo magnético que influye en el eje, soportado por rodamientos, donde se encuentra el rotor bobinado, los anillos rozantes y las escobillas (Jiménez, 2012).

1.15.1.3. Motores de inducción asíncrona

Funciona mediante inducción electromagnética entre dos devanados el primario se denomina estator (entrada) y el secundario rotor (salida), este tipo de motor no posee escobillas o conmutadores. Su funcionamiento es similar al de un transformador utilizándose para velocidades constantes, por lo tanto, si se lo desea instalar en un vehículo se tendrá que hacer uso de un dispositivo que permita la variación de velocidad, se consigue convirtiendo la corriente DC de las baterías en AC mediante un convertidor o inversor.

1.15.1.4. Motor síncrono

Cuenta con un imán en el rotor y sus bobinados son desfasados cada 120°, estos motores pueden ser de flujo axial o radial, pero los más utilizados son los de flujo radial. En cambio, los motores de flujo axial pueden ser instalados en cada rueda y de esta manera se transmite de forma directa el movimiento del motor hacia los neumáticos (Díaz, 2019).

1.15.2. Baterías

Desde sus inicios las baterías tienen como función almacenar energía para posteriormente ser reutilizada por los diferentes instrumentos de un vehículo su tamaño o composición depende de la capacidad de almacenamiento que se requiera para ser utilizada en distintas funciones. “Desde los primeros automóviles eléctricos, en algo más de 100 años hemos visto una evolución notable de las baterías: desde las vetustas de plomo-ácido o níquel-hierro, hasta las actuales de iones de litio” (Ibáñez, 2017).

Las baterías se constituyen por los siguientes elementos que se describen a continuación: “electrodos (ánodo y cátodo), terminales, separadores, un recinto y el electrolito que es encargado de separar los dos electrodos” (Dhameja, 2001, pág. 4).

1.15.2.1. Batería plomo ácido

En 1859, el físico francés Gastón Plante, realizó una serie de experimentos con el objetivo de desarrollar un dispositivo capaz de almacenar la electricidad. La primera celda que construyó constaba de dos láminas de plomo separadas por un tejido. Estos tres componentes los enrolló en espiral y los sumergió en ácido sulfúrico al 10%. Un año más tarde, Plante, presentó en la Academia de Francia la primera batería de Pb-ácido que incluía diez de estos elementos (Amarilla, 2011).

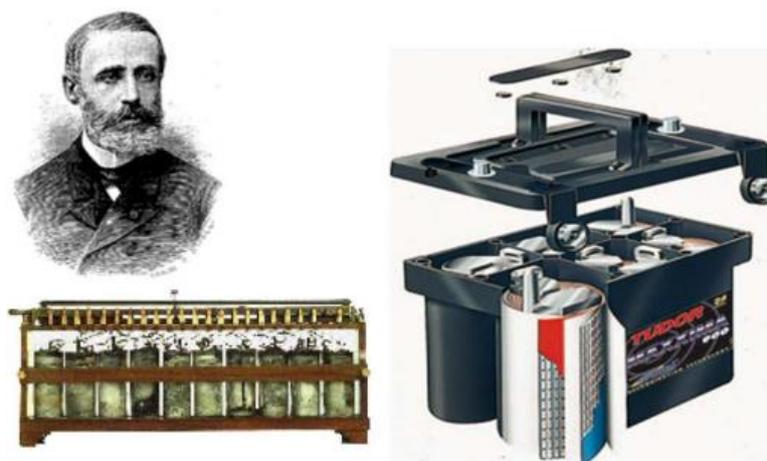


Figura 1.12 Batería de plomo-ácido

(Amarilla, 2011, pág. 120)

Este tipo de baterías son las más utilizadas y comunes de encontrar en el campo automotriz, se componen por un electrolito compuesto por agua destilada y ácido sulfúrico el otro componente es un electrodo compuesto por plomo, tienen la capacidad de aportar un voltaje que está en un rango de 12-6V. En la actualidad investigadores estudian como contrarrestar las fallas que tienen este tipo de baterías como lo son: “rendimiento, contaminación por fabricación, baja energía específica”. De esta manera se podrá utilizar este tipo de baterías a gran escala en vehículos eléctricos e híbridos.

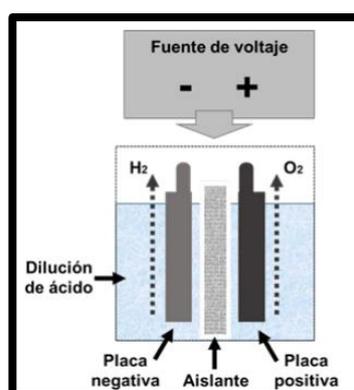


Figura 1.13 Partes de batería Pb-Ácido

(Alba & Muñoz, 2017, pág. 24)

“El electrolito de estas baterías es altamente corrosivo, atacando metales y sustancias orgánicas, por lo que, se recomienda el uso de guantes, botas y ropa protectora de goma al manejar baterías de Pb-ácido” (Chuquiana, 2014).

1.15.2.2. Batería de níquel Hidruro metálico (NiMH)

En 1967, Lewis publicó una recopilación de datos que demostraban la inserción de hidrógeno en paladio. Posteriormente, en 1970, Junty y col. desarrollaron el primer electrodo reversible de hidruro metálico. Sin embargo, hubo que esperar hasta el año 1989, para que se comercializara la primera batería NiMH. Desde entonces, se han realizado muchas investigaciones encaminadas al desarrollo de esta tecnología, en especial, a la mejora del electrodo de hidruro metálico (Amarilla, 2011).

Este tipo de baterías son utilizadas mayormente en vehículos híbridos, ya que, pueden recargarse rápidamente aprovechando así una de las nuevas tecnologías como lo es el freno regenerativo, son más livianas y de menor tamaño porque poseen mayor energía másica y volumétrica, también su grado de contaminación disminuye porque el plomo es eliminado de su composición, a diferencia de las baterías convencionales su coste es elevado.



Figura 1.14 Batería NiMH

(Noya, 2015, pág. 1)

“Las baterías de níquel-hidruro metálico (baterías NiHM) el cátodo es óxido de níquel, el ánodo es una aleación metálica capaz de almacenar hidrógeno y el electrolito es hidróxido de potasio” (Chuquiana, 2014).

1.15.2.3. Batería de Ion litio

En las décadas de los setenta y ochenta, las investigaciones desarrolladas en laboratorios de EE. UU., Japón y Europa demostraron que era posible insertar y des insertar iones de litio en/desde distintos compuestos químicos. Fruto de estos trabajos pioneros, en el año 1991, empresa japonesa Sony comercializó la primera batería de ión-liteo (batería Lion) (Amarilla, 2011).

Su principal característica es que pueden almacenar grandes cantidades de energía eléctrica. “Además, son eficientes, con alta potencia específica, alta densidad de energía, baja auto descarga, larga vida útil y pueden trabajar en un rango de (30 a 50) °C de temperatura sin afectar su vida útil” (Liu, 2013, pág. 22). Los materiales utilizados en la fabricación son reciclados por lo que este tipo de baterías contribuye al medio ambiente. “La mayoría de las baterías de iones de litio utilizan electrodos positivos de óxido de cobalto, con precio alto, en cambio el electrodo positivo alternativo se basa en el óxido de níquel LiNiO_2 , que es más barato y complejo” (Dhameja, 2001, pág. 12).

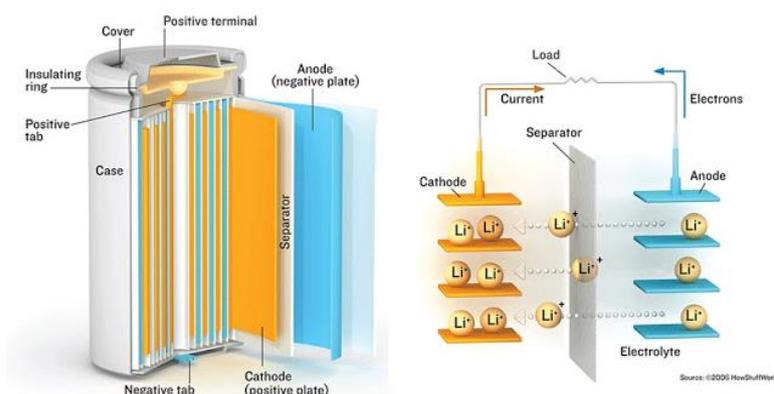


Figura 1.15 Elementos que conforman la batería Ion-Litio

(González, 2013, pág. 3)

Normalmente el costo de este tipo de baterías es superior que las baterías convencionales, cabe recalcar que se debe tomar mucha precaución al momento de manipular porque al entrar en contacto con agua esta batería tiende a reaccionar drásticamente es por ello por lo que, se debe revisar posibles fisuras o fugas, es necesario que este tipo de baterías cuenten con dispositivos para su protección analizando su presión, temperatura, sobrealimentación y sobre descarga.

1.16. Software de diseño CAD

CAD, o diseño y dibujo asistido por computadora (CAD), es una tecnología para el diseño y la documentación técnica, que sustituye el dibujo manual por un proceso automatizado.

SOLIDWORKS es un software de diseño CAD 3D para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.

1.17. El dinamómetro

Los dinamómetros son máquinas usadas para medir la energía de un motor es un instrumento de pruebas que se utiliza para la medición de diferentes magnitudes como la potencia, el par motor y el consumo de diferentes tipos de combustibles, dichas magnitudes son obtenidas a través de la absorción de energía de máquinas motrices giratorias o motores y se describen en curvas características del motor. El torque de un motor se determina específicamente mediante un sistema complejo de la absorción y de reacción (Cando & Suasnavas, 2014).

1.17.1. Dinamómetro de motor

El dinamómetro es acoplado directamente al cigüeñal del motor o a la unidad de potencia, siendo así, que desde este punto se tomará los valores que servirán para poder calcular la potencia.

Este tipo de dinamómetros son utilizados para realizar pruebas de motores en su etapa de investigación y desarrollo pues al estar el motor dentro de una sala de pruebas correctamente equipada, se pueden controlar de forma precisa las condiciones y parámetros en que se realizan las pruebas permitiendo así tener la posibilidad de repetir los ensayos con resultados iguales, lo que da validez a la información obtenida (Ávila, 2016).



Figura 1.16 Dinamómetro de motor

(Cáceres & Vallejos, 2018, pág. 6)

Los resultados obtenidos por este tipo de dinamómetro permiten corregir las pérdidas ocasionadas en el motor al ser montado elementos motrices como, por ejemplo; caja de cambios, pérdidas por rodaduras, diferencial, etc.

1.17.2. Dinamómetro de chasis

Este tipo de dinamómetros son los más utilizados en el mercado automotriz para realizar pruebas de medición de potencia y el par motor, dichas pruebas se las realiza en las ruedas motrices del vehículo, al finalizar las pruebas los resultados serán representados en graficas de curvas las cuales reflejan el comportamiento del vehículo en condiciones reales de operación.



Figura 1.17 Dinamómetro de chasis LPS 3000 con sus componentes

(Cáceres & Vallejos, 2018)

Los dinamómetros de chasis son equipos capaces de reproducir las fuerzas que se generan en un vehículo durante el proceso de frenado. Estos sistemas utilizan actualmente frenos de diversos tipos los cuales transforman la energía cinética de rotación en energía calórica, con lo cual se obtienen los parámetros de empuje (en llanta) y velocidad (lineal), por tanto, la potencia (Cando & Suasnavas, 2014).

Uno de los usos más utilizados es para la verificación de niveles de emisiones contaminantes de los vehículos automotores que se encuentran en circulación ya que mediante la simulación de patrones de carga, aceleración y velocidad que se encuentran estandarizados y buscan emular la forma típica de conducir para una región determinada (Ávila, 2016).

1.18. Controladores eléctricos

Los controladores son dispositivos que tienen la capacidad de funcionar juntamente con el motor y las baterías de un vehículo eléctrico, además, tienen como función controlar y regular la velocidad, aceleración y torque apegándose a los requerimientos del usuario, actualmente existen diferentes tipos de controladores con diferentes características y tipo de tecnología los cuales podemos clasificar en los siguientes:

- Controlador electrónico por PWM (Modulación por ancho de pulso)
- Controlador electrónico por PLC (Controlador lógico programable)

1.18.1. Controlador eléctrico por PWM

Las señales PWM son comúnmente usadas para el control de velocidad de motores DC (si decrementas el ciclo de trabajo sobre la señal de control del circuito de potencia que actúa sobre el motor, el cual se mueve más lentamente (ElectroTec Perú-Electronica y Robótica, 2020).

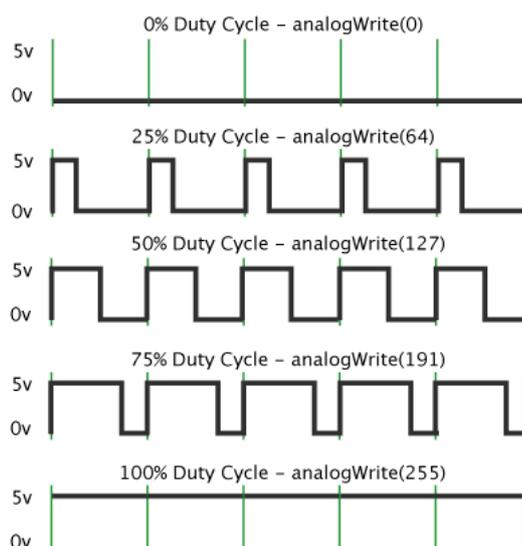


Figura 1.18 Señales PWM

(ElectroTec Perú-Electronica y Robótica, 2020)

Una variación en el PWM produce un cambio en el Duty Cycle, que es el tiempo que la señal está activa frente al tiempo que la señal está apagada. Con un Duty Cycle del 50% la señal estará activa la mitad del tiempo, mientras que la otra mitad del tiempo estará apagada. Si el Duty Cycle es del 100%, la señal estará activa durante todo el tiempo (ElectroTec Perú-Electronica y Robótica, 2020).

1.18.2. Controlador eléctrico por PLC

Un controlador lógico programable (PLC) es un dispositivo de computación que tiene como función controlar sistemas industriales de propósito especial diseñado para uso en sistemas de control industrial en tiempo real.

El PLC se diseñó para su uso en configuraciones industriales y, por lo tanto, se fortaleció para poder soportar varias condiciones adversas asociadas con ese entorno, como rangos de temperaturas extremas, ruido eléctrico, manejo brusco y gran cantidad de vibraciones. Los PLC

también son un buen ejemplo de sistema operativo en tiempo real debido a su capacidad para producir salidas en el menor tiempo posible después de evaluar una entrada. Esto es muy importante en el sistema industrial, ya que la sincronización es una gran parte de la planta / proceso de fabricación (ElectroTec Perú-Electrónica y Robótica, 2020).



Figura 1.19 Controlador electrónico PLC
(ElectroTec Perú-Electrónica y Robótica, 2020)

1.19. Fórmula SAE o *Formula Student*

En el año de 1982 se realizó por primera vez la competencia de Fórmula SAE o *Formula Student*, es una competencia internacional donde participan grupos de estudiantes de distintas universidades del mundo, ellos tienen la misión de diseñar y construir un vehículo monoplaza, respetando toda la reglamentación que esta competencia impone, es en esta parte, donde los estudiantes ponen a prueba toda su creatividad y su ingenio con la finalidad de mejorar su diseño (Melo, 2016, pág. 6).

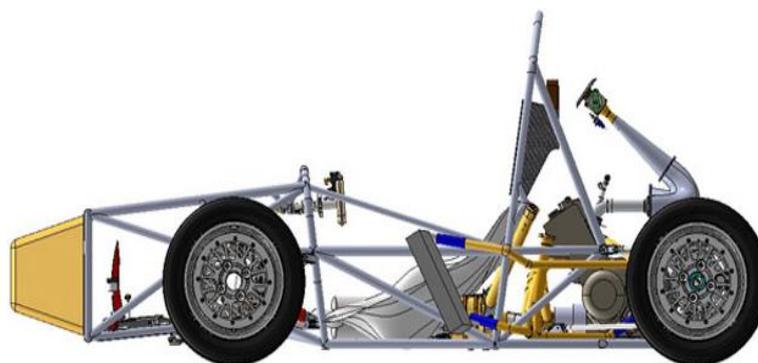


Figura 1.20 Bosquejo Formula Student
(Melo, 2016, pág. 6)

1.19.1. Bastidor tubular

El diseño de un chasis tubular es relativamente complejo debido a que las cargas aplicadas desde los diferentes sistemas del vehículo deben distribuirse de manera puntual en cada nodo de la estructura; limitando así, la ubicación de estos y reduciendo la distribución de esfuerzos en toda la extensión de la armazón. Se constituye de perfiles tubulares de acero, aluminio y aleaciones de magnesio o titanio. Los miembros estructurales se disponen en una adecuada triangulación que otorga una mayor resistencia frente a cargas puntuales. El principal objetivo durante el proceso de diseño es alcanzar el equilibrio entre las principales características del bastidor las cuales son: rigidez, peso y costo (Alvarez, 2018, pág. 15).

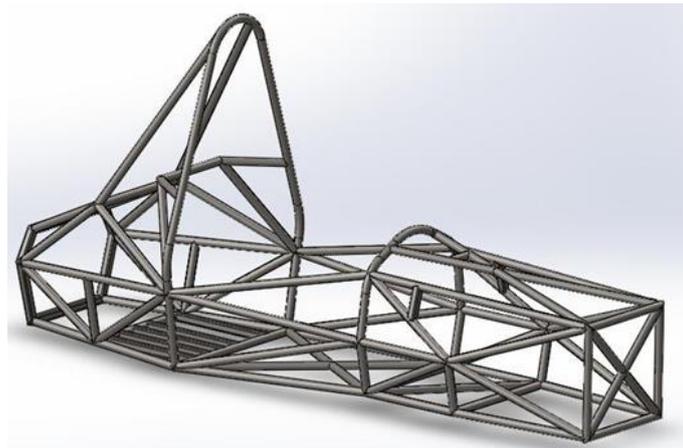


Figura 1.21 Bastidor tubular

(Alvarez, 2018, pág. 15)

Las ventajas que presenta este tipo de estructura son el proceso de fabricación sencillo en comparación a los demás tipos de chasis, la facilidad al acceso y uso de los equipos necesarios. Por otro lado, las desventajas que presenta son las siguientes: elevados costos de fabricación, y aumento de peso del vehículo (Alvarez, 2018, pág. 16).

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales y equipos

A continuación, se detallan cada uno de los materiales y equipos que fueron utilizados en la investigación.

2.1.1. Motor eléctrico

Motor marca “Manta” de corriente continua de 10 HP máximos a 48V, las especificaciones técnicas y características proporcionadas por el fabricante se especifican a continuación:

2.1.1.1. Especificaciones técnicas

Tabla 2.1 Especificaciones motor manta

Motor manta DC 10Hp	Características
Voltaje (motor)	36 V a 48 V
Potencia a 36 V	6Hp servicio continuo (sin refrigeración)
Potencia a 48 V	10Hp max no exceder los 125 °F
Eficiencia	94%
RPM max motor	4550
Temperatura de trabajo	125 °F= 51.66 °C máx.
Constante par	(0,13 Nm / Amp).
Peso	22 libras
Diámetro	7.91".
Longitud	5.64".
Potencia generada requiere diodo 100 Amp. Bloqueo. (Generador).	

Fuente: (Fabricante, 2021)



Figura 2.1 Motor eléctrico

(Autores, 2020)

2.1.2. Motor de encendido provocado

Motor marca “Uno Fx”, es un motor de combustión interna de 4 tiempos, las características y especificaciones técnicas se detallan a continuación:

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas motor de combustión interna

Características	Detalles
Marca	Motor 1 “Fx”.
Origen	China.
Ciclo de trabajo	4 Tiempos.
Cilindrada	197 cc.
Potencia	12.7 Hp.
Válvulas	2 válvulas (1 válvula de admisión y 1 válvula de escape).
Caja de cambios	5 velocidades.

Fuente: (Fabricante, 2021)



Figura 2.2 Motor 1 “Fx”

(Autores, 2020)

2.1.3. Construcción del bastidor

En la construcción del bastidor del buggy tipo formula “*Student*”, se empleó:

2.1.3.1. Solda

Suelda tipo MIG/MAG de la marca “INFRA MM261”, las especificaciones técnicas y características proporcionadas por el fabricante se especifican a continuación:

Tabla 2.3 Ficha técnica suelda

Características	Detalle
Tipo de salida	Corriente directa/ Potencial constante
Salida nominal	250 A, 27Vc.d
Rango de corriente	30-250 A.
Tipo de entrada	220/440 V, 60Hz monofásico
Corriente nominal de entrada	52/26 A.
Diámetros de alambre utilizados	Acero inoxidable: 0.6 a 0.9 mm Aluminio 0.9 y 1.3 mm
Ciclo de trabajo	60% con CO2.
Peso	120 Kg
Dimensiones (mm)	965 (largo) x362 (ancho)x792 (alto)

Fuente: (GRUPO INFRA R., 2020)

**Figura 2.3** Suelda

(Fabricante, 2021)

2.1.3.2. Tubo estructura redondo

Tabla 2.4 Especificaciones tubo redondo

Características	Detalle
Largo nominal.	6 metros.
Recubrimiento.	Negro.
Norma de calidad.	ASTM A 500 Gr.C.
Diámetro exterior.	25,40 milímetros.
Espesor.	1,50 milímetros.
Aplicación Automotriz y Autopartes.	Guardachoques, tubos de escape, carrocería y remolques.

Fuente: (IPAC, 2020)

2.1.4. Construcción de la suspensión

En la construcción de la suspensión para el vehículo tipo buggy, se empleó:

2.1.4.1. Brazos de la suspensión

Tabla 2.5 Especificaciones de tubo redondo brazos de suspensión

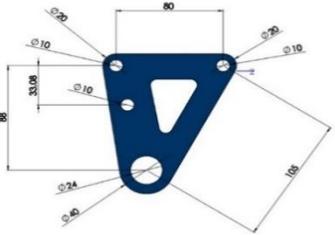
Características	Detalle
Largo nominal.	6 metros.
Recubrimiento.	Negro.
Norma de calidad.	ASTM A 500 Gr.C.
Diámetro exterior.	25,40 milímetros.
Espesor.	2,00 milímetros.
Aplicación Automotriz y Autopartes.	Guardachoques, tubos de escape, carrocería y remolques.

Fuente: (Autores, 2020)

2.1.4.2. Rockers

Se partió por el dimensionamiento en un software CAD seguidamente para su construcción en un torno, las medidas se originaron a partir de la longitud de los brazos de la suspensión.

Tabla 2.6 Especificaciones Rocker de “suspensión push rod”

Medidas	Material	Diseño
	<p>Lamina de acero 2 mm Tubo de acero 1plg x 1.5</p>	

Fuente: (Autores, 2020)

2.1.4.3. Amortiguadores

Existen varios tipos de amortiguadores a considerar para implementarlos en el sistema de suspensión del vehículo tipo buggy, los cuales se describen en la siguiente tabla:

Tabla 2.7 Tipos de amortiguadores

Modelo	1. AMORTIGUADOR HIDRÁULICO
Diseño	Características
	<p>Longitud: 270 mm Recorrido: 70 mm Peso: 480g sin muelle. Cojinete esférico: ID: 7.93mm. Ancho: 9mm. OD: 19mm.</p>

Fuente: (Fuente, Fabricante)

2.1.4.4. Rótulas

Tabla 2.8 Especificaciones técnicas rotulas

Diseño	Características
	<p>Diámetro: 8mm Espesor: 25mm Longitud centro hasta el final: 42mm Máximo carga radial: 33.135 Newtons</p>

Fuente: (PEGASUS, 2020)

2.1.4.5. Aros y Neumáticos

Tabla 2.9 Especificaciones aro y neumático

Diseño aro y neumático Mazda 323, año 1994, 1.3	Características
	<p>Ancho: 5 plg Diámetro: 13 plg Offset: 45mm Peso:</p>
	<p>Diámetro inferior: 13 plg Ancho: 185 mm Índice de carga (kg): código 82 entonces 475kg Velocidad máxima: código s entonces 180 km/h Peso: 7 kg</p>

Fuente: (Fabricante, 2021)

2.1.4.6. Plancha

Tabla 2.10 Especificaciones Plancha

Diseño	Característica
	<p>Calidades: ASTM A-36 Espesor [mm]: 10 Longitud [mm]: 6000 Ancho [mm]: 2000</p>

Fuente: (Autores, 2020)

2.1.5. Dirección mecánica de cremallera

Tabla 2.11 Características dirección de cremallera

Dirección de cremallera “ <i>FIAT UNO</i> ”.	Características.
	<p>Tipo de servicio: manual</p> <p>Tipo de mecanismo de dirección: Caja de dirección de cremallera</p> <p>Longitud total [mm]: 1040</p> <p>Variante de equipamiento: Sinfín 105mm</p> <p>Altura vástago entrada: 104</p> <p>Diámetro vástago entrada: 14</p> <p>Número dientes vástago entrada: 17</p>

Fuente: (Autores, 2020)

2.1.6. Freno de tambor

Tabla 2.12 Características Zapatas

Diseño	Características.
	<p>Tipo de accionamiento: mecánico</p> <p>Dimensión del tambor [mm]: 130 x 28</p> <p>Zapatas de frenos: aleación de aluminio.</p> <p>Forros de freno: fibra de amianto y ligantes de plástico.</p>

Fuente: (Autores, 2020)

2.1.7. Batería

Uno de los componentes principales para el funcionamiento del vehículo eléctrico viene a ser la batería, como se mencionó en apartados anteriores existen varios tipos de batería, la selección de esta dependerá de varios parámetros los cuales se determinarán en un capítulo posterior.

Tabla 2.13 Especificaciones batería

Diseño	Características
	Voltaje: 12V Corriente Ah : 65 Tipo : Plomo-ácido

Fuente: (Fabricante, 2021)

2.1.8. Contactor de línea

Tabla 2.14 Características Contactor de línea

Desconecta la corriente que alimenta al módulo "SIGMA DRIVE PMT445M".	Características
	Tipo: SW180B-195 Voltaje: 36/48 CO Largo [mm]: 127 Ancho [mm]: 60 Espesor [mm]: 44

Fuente: (Autores, 2021)

2.1.9. Potenciómetro 10 kilo ohms

Tabla 2.15 Características potenciómetro

Diseño	Características.
	Tolerancia: +/-20% Potencia: 0,125W Tipo: lineal Diámetro del eje [mm]: 6 Longitud del eje [mm]: 13 Orificio de montaje [mm]: 7.5 Diámetro de la base [mm]: 16

Fuente: (Geetbok Electronics, 2021)

2.1.10. Fusible de potencia

Tabla 2.16 Características fusible de potencia

Diseño	Características
	Amperaje: 300 Largo [mm]: 68 Ancho [mm]: 24 Espesor [mm]: 5

Fuente: (Autores, 2020)

2.1.11. Módulo seleccionado para la aceleración del buggy eléctrico (sigma drive PMT445M)

A continuación, se describen las características técnicas del módulo (sigma drive PMT445M):

Tabla 2.17 Características sigma drive PMT445M

PARÁMETRO		PARÁMETROS de funcionamiento general	PARÁMETROS de funcionamiento específico.
Tensión de alimentación		24V a 48V	36V
Máximo voltaje de operación.		48V	36V
Suministro de corriente		180 A	150 A
Caída de tensión en 150 A		600mV	400mV
		400mV	
Voltaje de salida	En 24V	0V a +24V	----
	En 36V	0V a +36V	0V a 36V
	En 48V	0V a +48V	----

Fuente: (Rojas, 2015)

Tabla 2.17 Características sigma drive PMT445M (Continuación...)

PARÁMETRO	PARÁMETROS de funcionamiento general		PARÁMETROS de funcionamiento específico.
Ajuste del límite de corriente	10% a 100% de la corriente total		10% a 100%
Sobrecalentamiento	90°C de temperatura interna	Desconexión	----
Aceleración	Ajustable de 0 a 10 segundos		1.5Seg
Desaceleración	Ajustable de 0 a 10 segundos		1Seg
Umbral de encendido	>4V		5V
Umbral de reserva	4V a 6V		5V
Conmutación de frecuencia	20kHz aproximadamente		----
Dimensiones (mm)	225 x 200 x 49 L x A x G		
Peso (kg)	4.1 Kg		

Entradas	Con potenciómetro de (5K)		
	Aceleración	0% 3.4V 100% 0.1V	Adelante y reversa
Modo interruptor	Acción	Encendido – Apagado	
	Dirección	Adelante - reversa	
Salida de freno	0% 0.2V 100% 4.8V		

Fuente: (Rojas, 2015)

2.1.12. Diagrama del módulo de aceleración (sigma drive PMT445M)

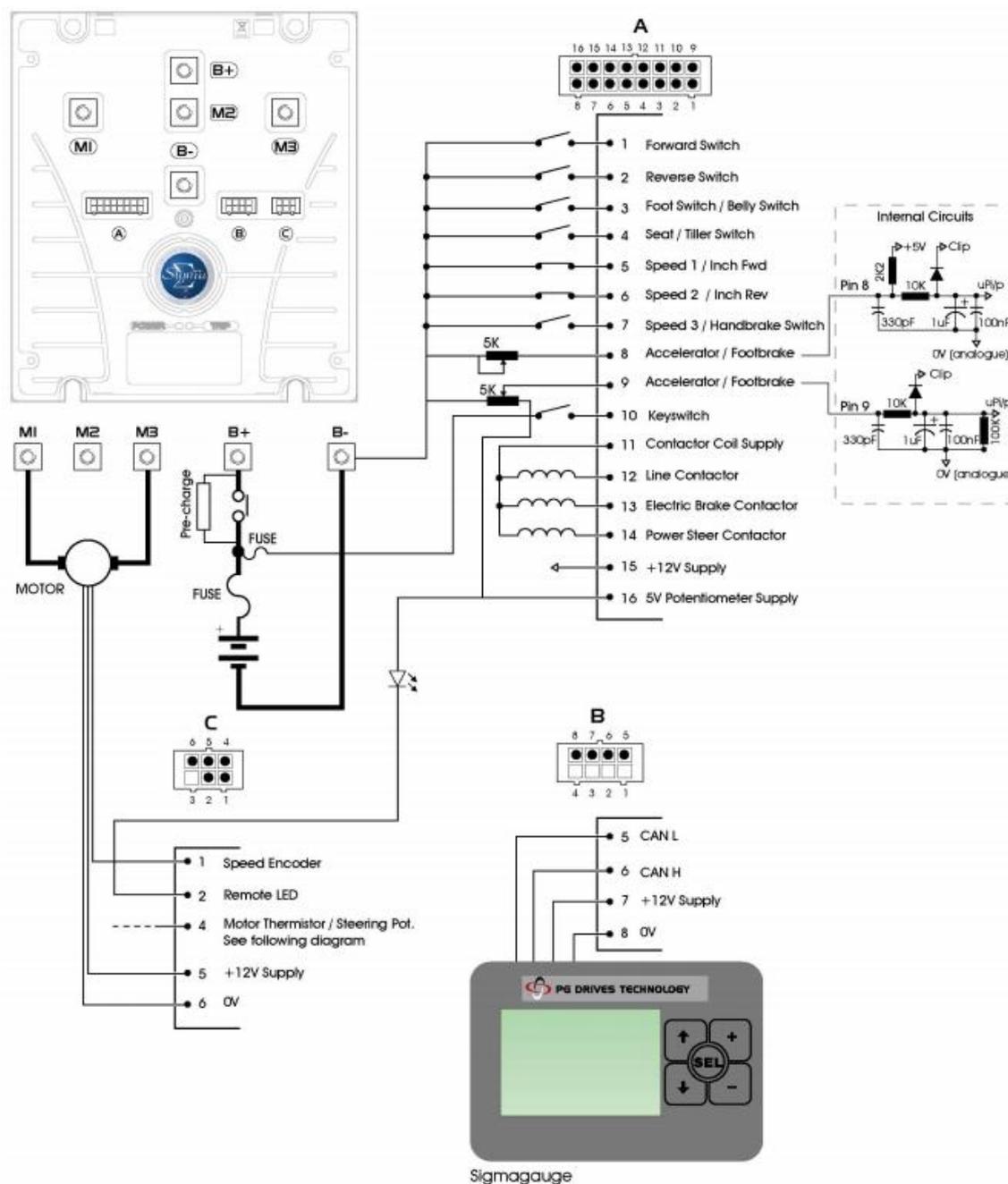


Figura 2.4 Diagrama conexión módulo de aceleración

(Pg Drives Technology, 2017)

2.1.13. Dinamómetro

En las pruebas de potencia y torque se consideró el dinamómetro marca “Vamag”, las características técnicas se mencionan a continuación:

Tabla 2.18 Ficha técnica dinamómetro

Especificaciones	Datos
Marca	Vamag, italiana
Torque	1500 Nm
Potencia Máxima	400 hp
Frecuencia	50.60 Hz
Masa	1200 Kg
Dimensiones	3070 x 870 x 310 h mm
Presión circuito aire comprimido	6 bar
Diámetro rodillo	240 mm
Ancho rodillo	660 mm
Velocidad máxima	180 km/h
Voltaje de suministro	220-240V AC
Corriente nominal	16 Amp

Fuente: (Vamag, 2017)

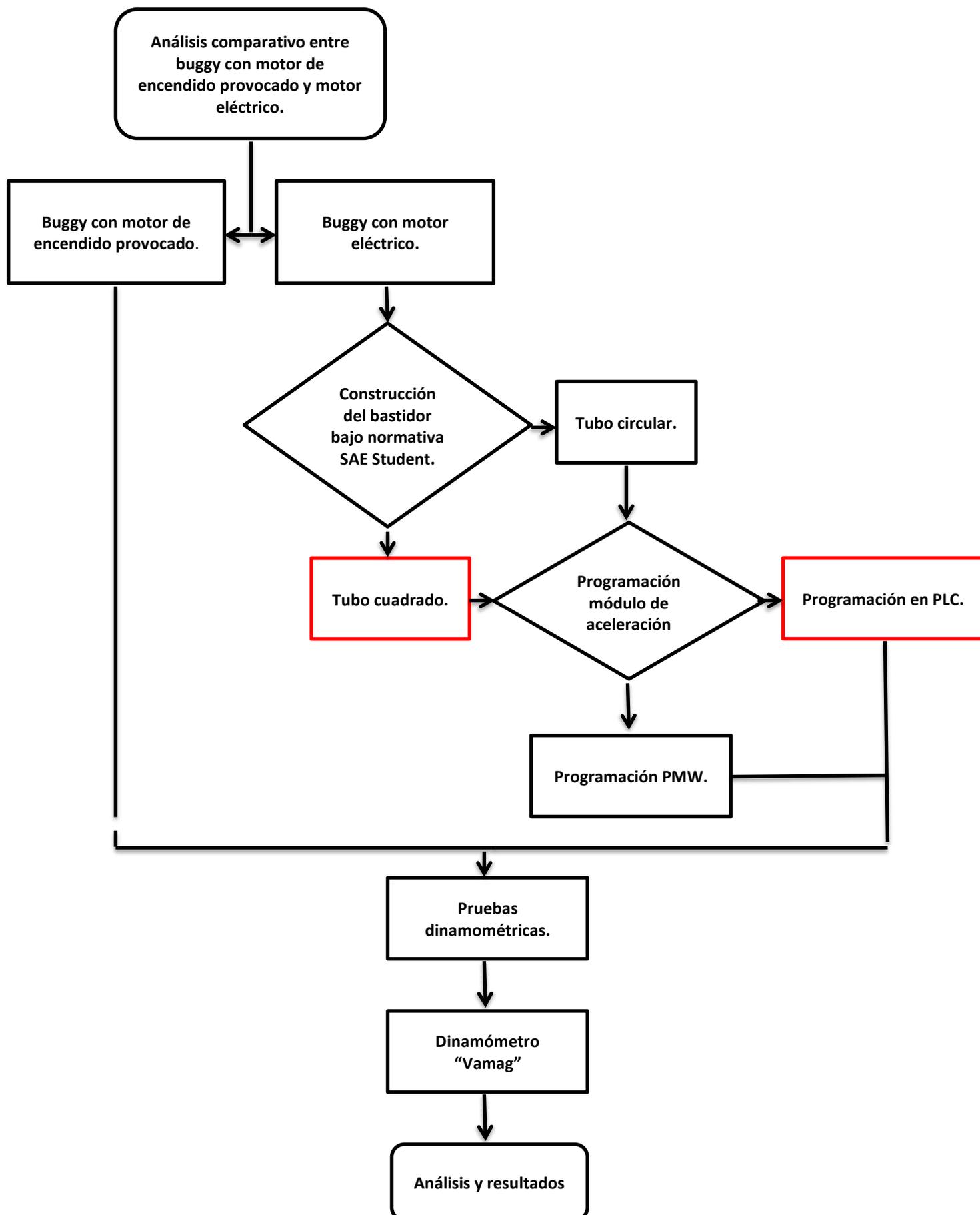
2.1.14. Software de diseño CAD

CAD, o diseño y dibujo asistido por computadora (CAD), es una tecnología para el diseño y la documentación técnica, que sustituye el dibujo manual por un proceso automatizado.

SOLIDWORKS es un software de diseño CAD 3D para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.

2.2. Metodología

La finalidad de la investigación fue determinar los valores de potencia y torque a través del método de aceleración libre, para cada uno de los vehículos monoplaza tipo buggy con motor de encendido provocado y motor eléctrico. La razón del tema de investigación fue obtener datos técnicos entregados por un dinamómetro “Vamag”, que posteriormente fueron comparados y se determinó las diferencias que existen en cada uno de estos vehículos.



2.2.1. Métodos investigativos

El método inductivo, también conocido como método experimental es un método científico que alcanza todo tipo de resultados empezando por una pequeña idea, por lo que para el presente trabajo de investigación se llegó a las conclusiones con datos relacionados de otras investigaciones presentes por divulgación (Lema, 2019).

2.2.2. Método histórico lógico

Generalmente es un método encargado de un estudio con una secuencia y un orden cronológico, que mantenga correlación con algún tipo de investigación referencial, logrando así alcanzar los objetivos planteados en el proyecto de investigación, haciendo uso adecuado de la información anteriormente mencionada y de esta manera encausar futuras y posibles investigaciones relevantes (Angamarca, 2019).

2.2.3. Método de diseño del bastidor

El diseño y la construcción del bastidor tubular mediante software CAD para el vehículo tipo buggy con motor eléctrico se rige a la normativa SAE “*Student*”. Las consideraciones de diseño de la estructura deben proporcionar seguridad al piloto y elementos, soportar cargas generadas durante el funcionamiento y deben acogerse a los reglamentos de la normativa SAE.

2.2.3.1. Distribución de tubos

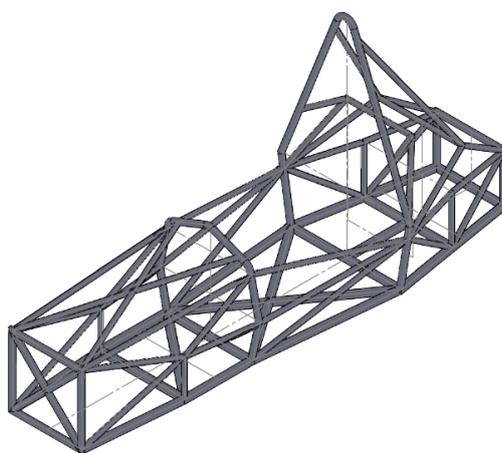


Figura 2.5 Distribución de tubos y centro de gravedad

(Autores, 2020)

Como se observa en la figura 2.5 la estructura del bastidor está diseñada en varios colores y medidas específicas como se demuestran en la Tabla 2.20.

Tabla 2.19 Dimensiones, colores y diámetros utilizados

COLOR	DIÁMETRO x ESPESOR (mm)
Piso – arcos	1plg x 2.0mm
Travesaños – soportes	1 plg x 1.5mm

Fuente: (Autores, 2020)

2.2.4. Distribución de masas principales en el chasis

Las masas principales intervienen directamente en el comportamiento dinámico del vehículo. En un vehículo monoplaça, el piloto se considera como masa principal; es decir, la masa del piloto en relación con las masas de los elementos más voluminosos (batería, motor, controlador) son similares en peso, por lo que la posición de conducción afecta directamente la distribución de las masas. El propósito de establecer las masas principales es determinar la correcta ubicación en conjunto con el espacio que las mismas necesitan (Alvarez, 2018, pág. 38).

Tabla 2.20 Masas principales en el bastidor

Componente	Masa (kg).
Motor	11
Piloto	70
Controlador	7
Batería	67
Dirección	7
Tren motriz	18
Pedales	2
Sistema de suspensión y frenos	90
Accesorios	15

Fuente: (Autores, 2020)

El vehículo *Formula SAE* al ser eléctrico posee un paquete de baterías y diferentes componentes eléctricos los cuales suman un peso de 287 kg. Los distintos equipos de la *Formula SAE* presentan dos configuraciones en la disposición del paquete de baterías; la primera, consiste en formar dos conjuntos de celdas las cuales se ubican a los costados del chasis; la segunda, se realiza un solo ensamble de baterías el cual se ubica hacia atrás del asiento del piloto. Comúnmente la batería es colocada detrás del conductor ya que facilita el diseño del chasis (Alvarez, 2018, pág. 39).

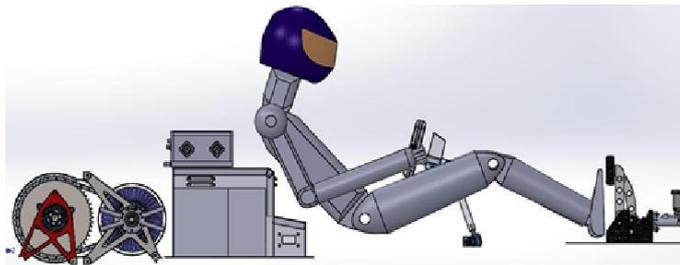


Figura 2.6 Distribución de masas principales

(Alvarez, 2018)

2.2.4.1. Ensamble del bastidor

El ensamble del chasis radica en la colocación de cada uno de los miembros estructurales, de acorde al acople de boca de pescado realizado en cada unión o nodo de la estructura del bastidor. La construcción del bastidor se inicia colocando los tubos del piso del chasis como se observa en la figura 2.7, seguidamente se procedió con la construcción de las subestructuras principales en la figura 2.8.



Figura 2.7 Piso bastidor

(Autores, 2020)



Figura 2.8 Subestructuras principales

(Autores, 2020)

Luego se realizó el ensamble de los elementos comprendidos entre la subestructura posterior, delantera y arcos antivuelco, es decir, se ensamblan los refuerzos laterales de la estructura, a

continuación, se denota el proceso de soldadura aplicado en la construcción de la estructura, el cual comprende en varias etapas.

El primer proceso de soldadura consiste en asegurar cada uno de los elementos que conforman la estructura a través de soldaduras por puntos, de esta manera se puede revisar de manera previa la alineación de cada elemento fijándose en cada unión entre nodos que se encuentren en la posición correcta.

Una vez culminado el proceso de inspección en cada uno de los nodos se realizó el segundo proceso, el cual consiste en la unión de cada elemento a través de cordones de soldadura, se debe considerar que este proceso no es posible realizarlo en algunos nodos debido a la disposición en la terminación de los tubos con acabado de corte boca de pescado; por tal motivo se realizó dos tramos de cordón de soldadura, alrededor de cada nodo. Finalmente, se procedió a revisar el acabado en cada una de las terminaciones soldadas, obteniendo como resultado final la construcción del chasis en su totalidad como se observa en la figura 2.9.



Figura 2.9 Bastidor Tubular

(Autores, 2020)

2.2.5. Metodología de la construcción de la suspensión

La función principal que cumple un sistema de suspensión es la de mantener al máximo el tiempo de contacto del neumático con la carretera, el diseño y la construcción de la suspensión tubular mediante software CAD para el vehículo tipo buggy con motor eléctrico se rige a la normativa SAE “*Student*”. Las consideraciones de diseño de la estructura deben proporcionar algunas de las características las cuales se describen a continuación:

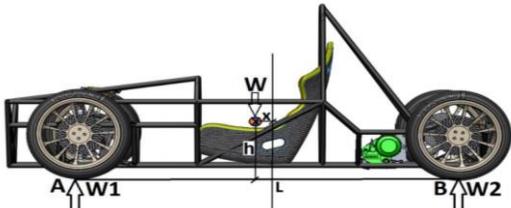
La suspensión debe mantener una distancia con el suelo suficiente como para evitar que la estructura tubular del vehículo se vea comprometida a sufrir daños.

- La distancia entre ejes como mínimo considerada es de 1525mm (60 pulgadas).

- El sistema de suspensión deberá ser completamente operativo compuesto de amortiguadores tanto en la parte delantera como en la trasera.
- Todos los puntos de anclaje de la suspensión deben estar visibles a cualquier inspección en caso de avería para su fácil reparación.
- Que el vehículo tipo buggy eléctrico sea lo más liviano posible tomando un valor de referencia máximo de 300kg.

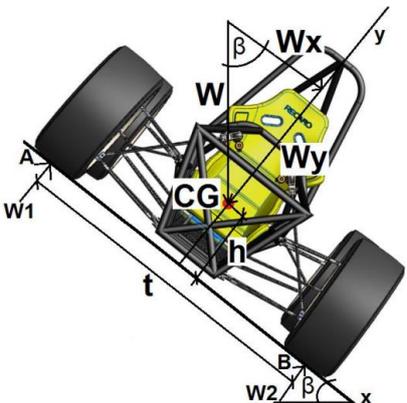
2.2.5.1. Análisis de cargas presentes en el sistema de suspensión

Tabla 2.21 Cálculo distribución de masas en el vehículo

Cálculo distribución de masas en el vehículo	
	
Eje delantero W₁ y eje posterior W₂ .	
Donde;	
W: Peso del vehículo (100%).	
l: Distancia entre ejes (1535mm).	
x: Centro de gravedad desde el eje neutro (50mm).	
$W_1 = \frac{W}{2} + \frac{W \cdot x}{l} \quad [2.1]$ $W_1 = \frac{100\%}{2} + \frac{100\% * 50mm}{1535mm}$ $W_1 = 53.26\%$	$W_2 = \frac{W}{2} - \frac{W \cdot x}{l} \quad [2.2]$ $W_2 = \frac{100\%}{2} - \frac{100\% * 50mm}{1535mm}$ $W_2 = 46.74\%$
<p>NOTA: Se obtuvo porcentaje de la distribución de la masa en el eje delantero de 152.85 kg y en el eje posterior de 134.14 kg, considerando el peso del vehículo de 287 kg.</p>	

Fuente: (Autores, 2020)

Tabla 2.21 Cálculo distribución de masas en el vehículo (Continuación...)

Cálculo antivuelco	
	
<p>Donde:</p> <p>t: Ancho de vía (1200 mm). h: Altura del centro de gravedad (300 mm). β: Inclinación máxima.</p>	$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{t}{2 * h} \right) \quad [2.3]$ $\beta = \tan^{-1} \left(\frac{1200 \text{ mm}}{2 * 300 \text{ mm}} \right)$ $\beta = \tan^{-1} 63.43\%$
<p>NOTA: En función a la distribución de masas, el vehículo monoplaza resiste 63.43% antes de volcarse, cumpliendo con el reglamento FSAE (60%) manteniéndose estable en curva.</p>	

Fuente: (Autores, 2020)

2.2.5.2. Geometría de la suspensión

En el mundo del automovilismo existen varios tipos de geometrías para la construcción de la suspensión, en este caso particular como lo es la construcción de un vehículo monoplaza tipo buggy eléctrico se optó por buscar un sistema de suspensión acorde con la normativa fórmula SAE, debido a que este tipo de sistemas son flexibles, simples, de menor peso y se acogen de mejor manera al diseño del bastidor, por consiguiente, el sistema a utilizar será el de “*push-road*”.



Figura 2.10 Suspensión push-rod

(Autores, 2020)

Tanto la suspensión frontal como posterior vienen determinadas por el ancho de vía y el dimensionamiento del arco frontal, estos parámetros influyeron en el centro de gravedad del vehículo tipo buggy eléctrico. En la figura 2.11 se observa la geometría de la suspensión delantera, así como la trasera, en donde los componentes como amortiguadores, rocker's y rotulas son las encargadas de mantener anclado el chasis a los neumáticos.

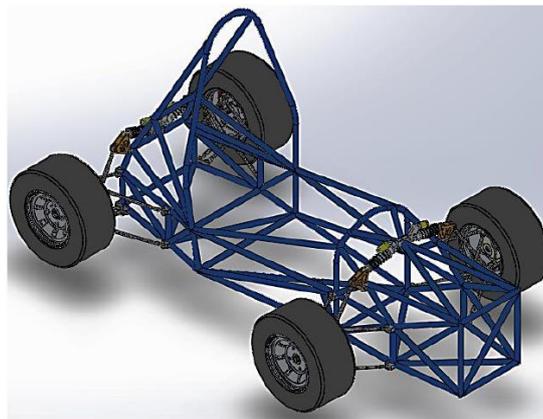


Figura 2.11 Montaje suspensión

(Auquilla & Torres, 2016)

Las dimensiones de la geometría de la dirección se detallan en el apartado de anexos

Tabla 2.22 Medidas de la suspensión

Suspensión delantera	Longitud (mm)
Brazo inferior	26
Brazo superior	26
Suspensión trasera	Longitud (mm)
Brazo inferior frente izquierdo	42
Brazo inferior trasero izquierdo	40
Brazo superior frente derecho	42
Brazo superior trasero derecho	40
Elemento	Suspensión frontal
Angulo de inclinación del Push road (°)	62
Longitud el push-road (mm)	65

Fuente: (Autores, 2020)

2.2.5.3. Determinación de las fuerzas en los brazos de la suspensión con la utilización de Solid Works

En el apartado de anexos se describen algunas de las fuerzas que se aplican al sistema de suspensión, dichas magnitudes se ingresan al programa SolidWorks para efectuar un análisis estático con la finalidad de comprobar que el material seleccionado y el dimensionamiento de las piezas cumplan con su función sin sufrir deformaciones considerables al momento de realizar pruebas reales en pista.

Tabla 2.23 Cálculo transferencia de masas

Cálculo de trasferencia de masas	
A. Cálculo transferencia de masa en frenada:	
[2.4]	$df = \frac{v^2}{254e}$
Dónde:	
df = Distancia de frenado.	
v^2 = Velocidad al momento de frenado.	
e = Coeficiente de fricción.	
B. Cálculo desaceleración de frenada:	
[2.5]	$af = \frac{v^2}{2 \times df}$

Dónde:

af = Desaceleración de frenado.

df = Distancia de frenado.

v^2 = Velocidad al momento de frenado.

C. Transferencia de masa en frenada.

$$wf = \frac{a \times m \times h}{l} \quad [2.6]$$

Dónde:

wf = Transferencia de masa (N)

a = Aceleración (m/s^2)

m = Masa total (kg)

h = Altura centro de gravedad (m)

l = Distancia entre ejes (m)

D. Carga generada eje delantero:

$$w_t = (m \times 0.4 \times 1.33) + (wf \times 1.5) \quad [2.7]$$

Dónde:

wf = Transferencia de masa (N)

m = Masa total (kg)

E. Transferencia de masa en curva:

$$a_n = \frac{v^2}{\rho} \quad [2.8]$$

Dónde:

a_n = Aceleración normal (m/s^2).

v^2 = Velocidad (m/s).

ρ = Radio curva (m).

F. Masa en la curva:

$$w_t = \frac{a_n \times m \times h}{b} \quad [2.9]$$

Dónde:

a_n = Aceleración normal (m/s^2)

m = Masa total (kg)

h = Altura centro de gravedad (m)

b = Ancho de vía (m)

G. Transferencia de masa a cada rueda en curva:

$$w_t = (m \times 0.4 \times 1.33) \pm (wf \times 1.5) \quad [2.10]$$

Dónde:

wf = Transferencia de masa (N)

m = Masa total (kg)

Fuente: (Douglas L. Milliken, 2003)

a) **Análisis estructural de la tijera inferior delantera**

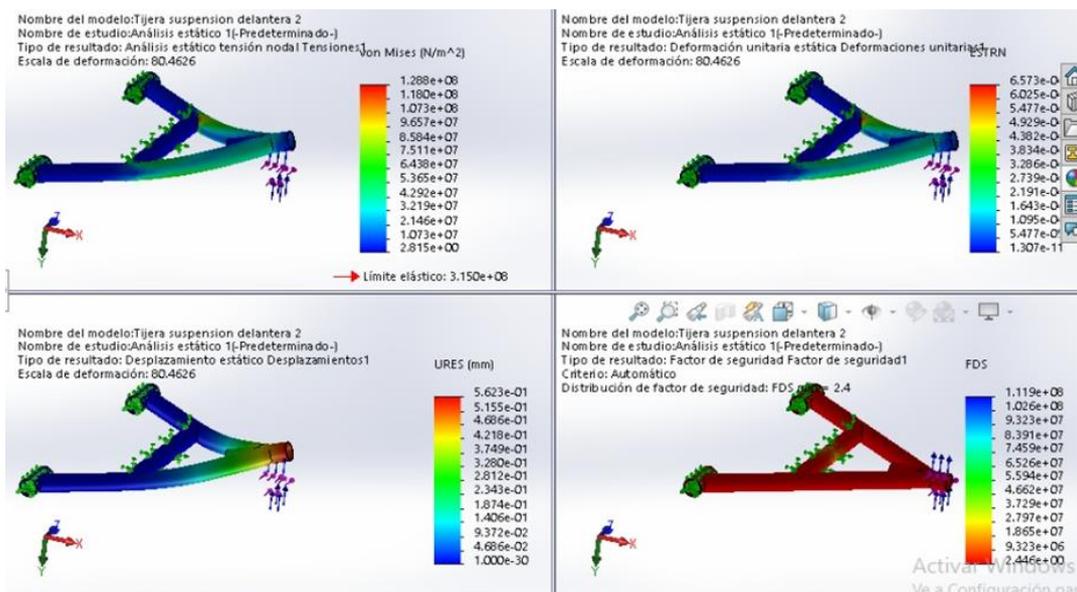


Figura 2.12 Análisis estructural de la tijera inferior delantera

(Autores, 2020)

Como se observa en la figura 2.12. el límite elástico de la tijera inferior delantera se encuentra en un rango adecuado, ya que, no supera el límite elástico de $3.150e+08$ considerando un factor de seguridad mínimo de 2.4 finalmente la deformación máxima no supera el milímetro.

b) **Análisis estructural de la tijera superior delantera**

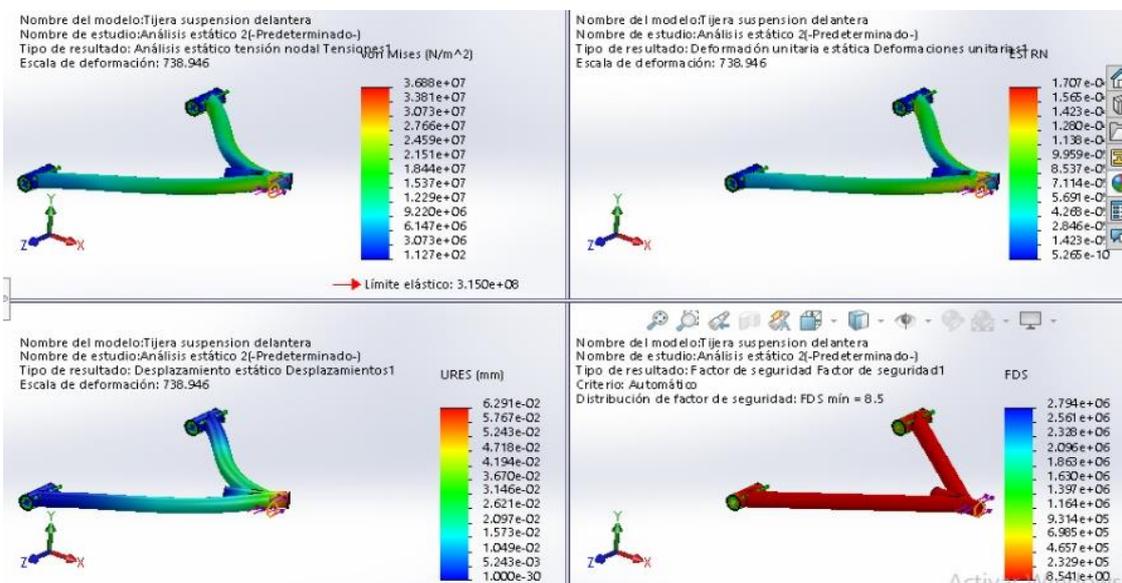


Figura 2.13 Análisis estructural de la tijera superior delantera

(Autores, 2020)

En la figura 2.13 Se puede observar que el límite elástico de la tijera superior delantera se acerca al valor máximo de 3.150×10^8 sin superarlo, la pieza resiste las cargas impuestas con un factor de seguridad mínimo de 8.5.

c) Análisis estructural de la tijera inferior trasera

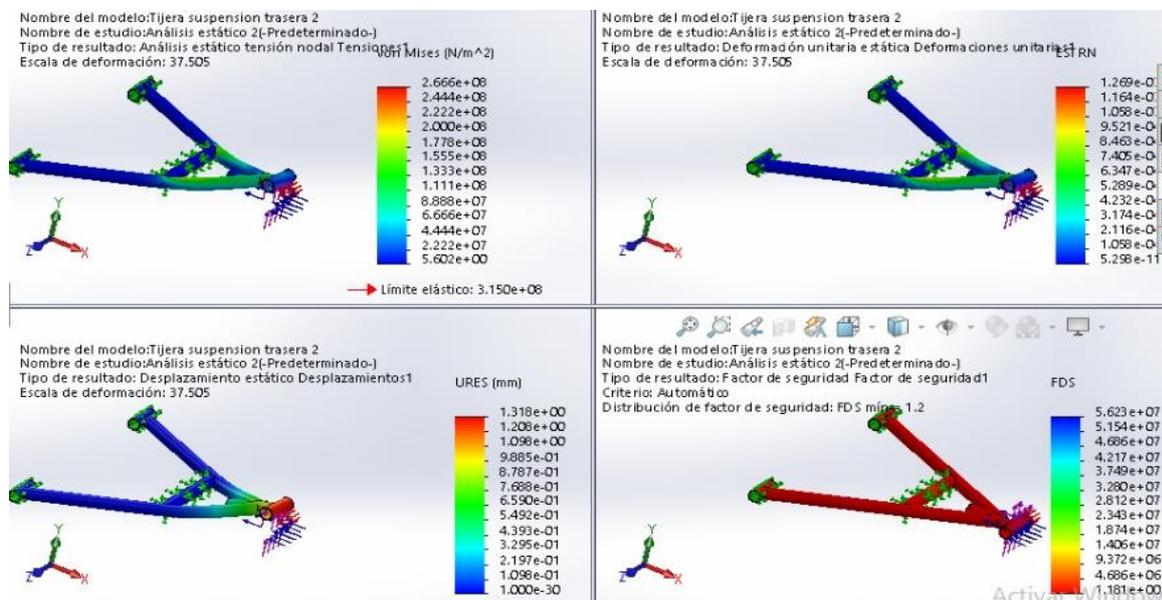


Figura 2.14 Análisis estructural de a tijera inferior trasera

(Autores, 2020)

Como se observa en la figura 2.14 la tijera inferior trasera resiste todas las cargas aplicadas con un factor de seguridad de aproximadamente 5.6 mismo que garantizará un buen funcionamiento de la pieza.

d) Análisis estructural de la tijera superior trasera

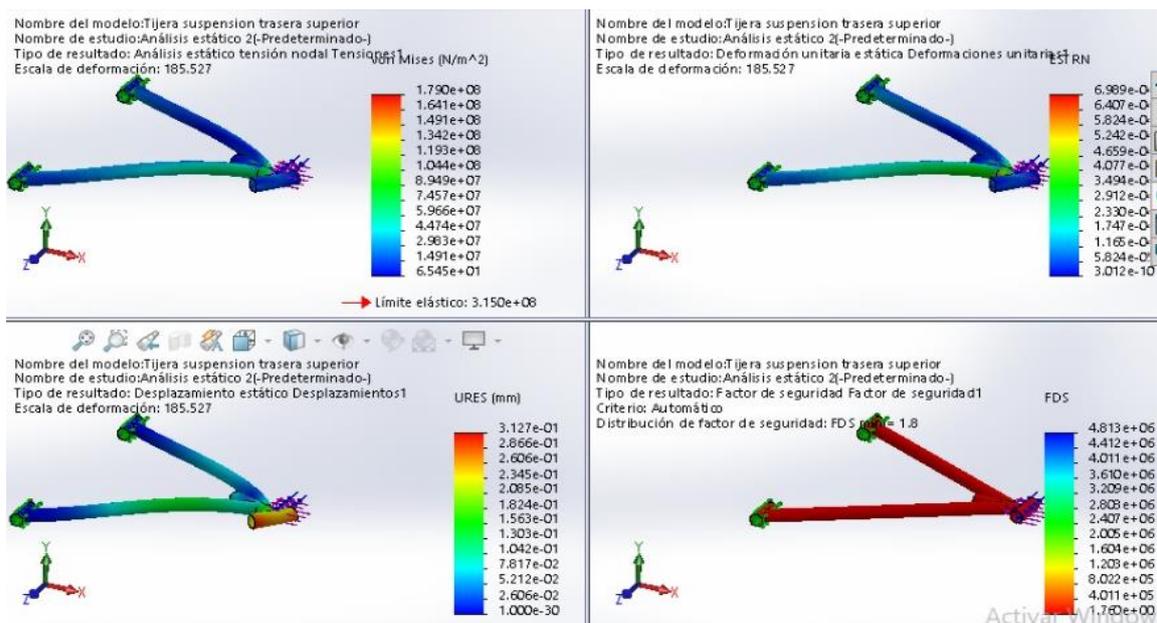


Figura 2.15 Análisis estructural de la tijera superior trasera

(Autores, 2020)

En la figura 2.14 se muestra los resultados después del sometimiento de cargas a la tijera superior trasera la cual, no excede el límite elástico impuesto y garantiza su buen funcionamiento con un factor de seguridad de 1.8.

2.2.5.4. Sistema de tracción

Para la construcción del sistema de tracción se consideró una relación de transmisión de 3/1, es decir (por cada tres vueltas del eje del motor, el eje de tracción girará una vuelta), la transmisión del movimiento de tracción se realiza a través de dos piñones de diferente diámetro y una cadena que los une. Para ello, se consideró un piñón de arrastre de 13 dientes ubicado en el eje motor frente a una catalina de 41 dientes ubicada en el eje de las ruedas.



Figura 2.16 Piñones de tracción

(Autores, 2020)

Se debe mencionar que los piñones del sistema de tracción fueron aliados a través de un torno para evitar vibraciones de los ejes de accionamiento.

Tabla 2.24 Diámetro de la rueda

Cálculo del diámetro de la rueda	
Medida del neumático: 185/60R14 Ancho del neumático: 185 mm. Perfil: 60% = 0.60 Diámetro de la llanta: 14 in = 35.56 mm.	$\text{Perfil Altura} = \text{Ancho del neumático} \times \text{Perfil}$ [2.11] $\text{Perfil Altura} = 185\text{mm} \times 0.60$ $\text{Perfil Altura} = 111\text{mm.}$ $\text{Diámetro total} = (\text{Perfil Altura} \times 2) +$ $\text{Diámetro llanta} \quad [2.12]$ $\text{Diámetro total} = (111\text{mm} \times 2) + 35.56\text{ mm}$ $\text{Diámetro total} = 257.56\text{ mm}$

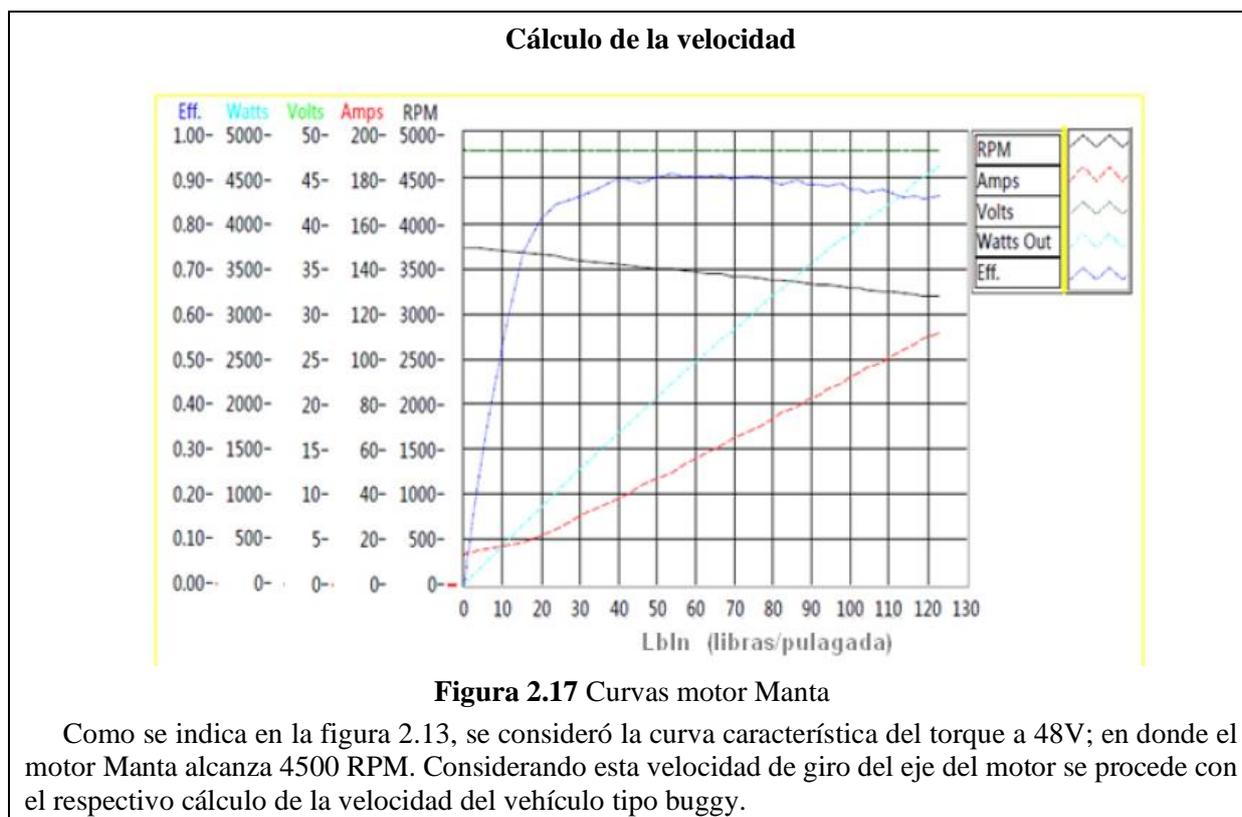
Fuente: (Autores, 2020)

Tabla 2.25 Longitud de la circunferencia

Cálculo de la longitud de la circunferencia	
Diámetro total: 257.56 mm π : 3.14 mm	$\text{Longitud de la circunferencia} = \pi \times$ $\text{Diámetro total} \quad [2.13]$ $\text{Longitud de la circunferencia} = 3.14\text{ mm} \times 257.56\text{mm}$ $\text{Longitud de la circunferencia} = 808.73\text{ mm}$

Fuente: (Autores, 2020)

Tabla 2.26 Velocidad



Fuente: (Autores, 2020)

Tabla 2.26 Velocidad (Continuación...)

Cálculo de la velocidad	
[2.14]	$\text{Giro eje de tracción} = \frac{\text{Giro eje motor}}{\text{relación de transmisión}}$
	$\text{Giro eje de tracción} = \frac{4500 \text{ rpm}}{\frac{3}{7}}$
	$\text{Giro eje de tracción} = 1500 \text{ rpm}$
	$\text{Distancia recorrida} = \text{Giro eje de tracción} \times \text{Longitud de la circunferencia}$
	[2.15]
	$\text{Distancia recorrida} = 916.7 \text{ rpm} \times 808.73 \text{ mm}$
	$\text{Distancia recorrida} = 1213095 \text{ mm/min}$
	$\text{Distancia recorrida} = 72.78 \text{ km/h}$
	<p>La velocidad estimada del prototipo será de 72.78km/h con un giro máximo del motor, se debe tener en cuenta que el peso del vehículo no se consideró para el cálculo, por tal motivo, la velocidad del prototipo puede variar.</p>

Fuente: (Autores, 2020)

2.2.6. Fuente de alimentación del motor eléctrico Baterías

Como se mencionó en un apartado anterior en el mercado existen diferentes tipos de baterías, se tomó en cuenta varios aspectos importantes tales como, por ejemplo, que el peso de la batería sea liviano, que las dimensiones no superen 300mm de largo, ya que, complicaría su acoplamiento al monoplaza tipo buggy, de igual manera que cumplan una autonomía de máximo 1 hora, en donde se determinó que las baterías plomo acido estarían más apegadas a los parámetros anteriormente dichos.

En el mercado local se ofertan baterías de diferentes marcas, de las cuales podemos mencionar algunas como son: Baterías Ecuador, Motorex, Dacar y Bosch, en donde se pudo obtener varias de sus características las cuales se pueden observar en la tabla que se describe a continuación.

Tabla 2.27 Descripción Baterías

Marca	Modelo	Voltios	Capacidad (Ah)	Tamaño			Costo (\$)
				Largo	Ancho	Alto	
Batería Bosch S5	Mega power	12	78	255	170	224	178.08
Motorex	NS60(S)	12	75	236	127	223	111,25
Dacar	BP34-85	12	85	255	170	200	178.08
Ecuador	E3- 34 MP	12	78	255	170	200	168.00

Fuente: (Autores, 2020)

En base a la información obtenida por los catálogos de cuatro marcas de baterías, se optó por la utilización de la batería Dacar BP 34-85(S), debido a que no supera los 300mm de dimensionamiento anteriormente mencionado, además su capacidad de (85Ah) permitió ofrecer un mejor desempeño en la alimentación del motor eléctrico, finalmente, su tecnología de sellado libre de mantenimiento elimina derrames brindando la oportunidad de colocarla en cualquier posición. La información obtenida es de gran importancia para el cálculo del número de baterías que se debe colocar en función de la potencia necesaria para el motor.

2.2.6.1. Cálculos en función de la potencia del motor

En el apartado de los materiales utilizados para la construcción del vehículo monoplaza tipo buggy se detallan sus características del motor eléctrico DC “Manta” de 10HP para un mejor entendimiento obsérvese el ítem 2.1.1.1.

Potencia: 36V - 6HP

Potencia: 48V – 10HP

Si: $1HP = 735.5 W$

Debido a que el buggy eléctrico se someterá a pruebas de torque y potencia en un dinamómetro solo se tomará en cuenta su desempeño a máxima potencia es decir 10HP los cuales se generarán a partir de los 48V según el fabricante, entonces a partir de este dato se procede a realizar los cálculos que deben cumplir las baterías respecto a su capacidad.

10 HP = 7355 W

(Rojas, 2015) en su trabajo de investigación consideró varios datos importantes para el cálculo de la capacidad que debería cumplir la batería, los cuales son; autonomía de una hora,

además perdida por conexiones, corriente alrededor del 3% y el ciclo de descarga de 75%, para lo cual se empleó las siguientes ecuaciones.

$$7355 W \times 1h (\text{autonomía}) = 7355Wh \div 0.97 (\text{perdidas}) = 7582,474 Wh \quad [2.16]$$

$$7582,474 Wh \times 0,75 (\text{ciclo de descarga}) = 10109,96 Wh$$

Finalmente, se calculó la capacidad que debe cumplir la batería apegándose al voltaje máximo necesario para el motor manta.

$$10109,96 VAh \div 48V = 210,62 Ah \quad [2.17]$$

Una vez determinada la capacidad de la batería la cual tendrá una autonomía de una hora, se procedió a investigar la configuración adecuada para que la salida de voltaje, intensidad de corriente sean los correctos y puedan alimentar al motor manta de manera óptima, se adquirió 4 baterías de 85 Ah de marca Dacar modelo 34-85 plomo- plata-calcio (sellada).

(Chuquimarca & Suin, 2017) mencionan que una configuración en serie/paralelo de las baterías permiten alcanzar la tensión y la capacidad deseada, además se puede obtener una mejor flexibilidad al momento de montaje.

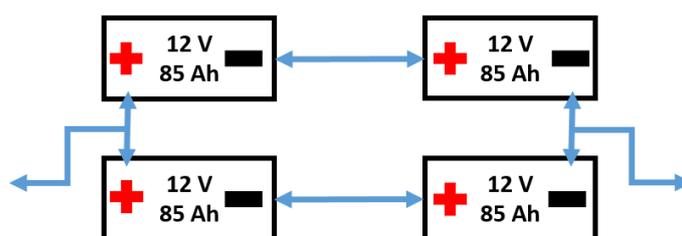


Figura 2.18 Configuración baterías serie/paralelo

(Autores, 2020)

En la figura 2.18, se observa la configuración de la cual se obtendrán valores de salida aproximadamente 340 Ah, pero con un voltaje de 24 Voltios, en la figura 2.19 se describe una configuración diferente en donde se obtendrá valores de 48V.

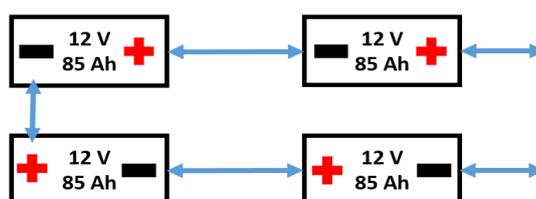


Figura 2.19 Configuración baterías en serie

(Autores, 2020)

Para que la potencia del motor manta sea la máxima se debe contar con un voltaje de 48V por lo cual la configuración de la figura 2.19 es la más apegada.

2.2.7. Módulo controlador de la velocidad

En el capítulo de marco teórico se mencionó algunos tipos de programaciones que existen para controlar la frecuencia de los motores eléctricos, el tipo de programación por modulación de ancho de pulso (PWM) es utilizado en los motores eléctricos de corriente continua DC.

En el trabajo de titulación: “Implementación de un sistema de control electrónico y optimización del sistema de almacenamiento de energía a un vehículo monoplaza propulsado por un motor eléctrico y alimentado por energía solar, de la Universidad Técnica del Norte” se seleccionó un módulo de aceleración denominado “sigma drive PMT445M” el cual se apegaba perfectamente a los requisitos del motor eléctrico manta, con lo cual en el desarrollo del presente proyecto se tomó el mismo módulo de aceleración.

2.2.8. Diseño del circuito y procedimiento de instalación

Para obtener la máxima potencia del motor manta fue necesario instalar 4 baterías en serie que sirvan como fuente de alimentación de 48V para el motor eléctrico manta, obsérvese la figura 2.20.

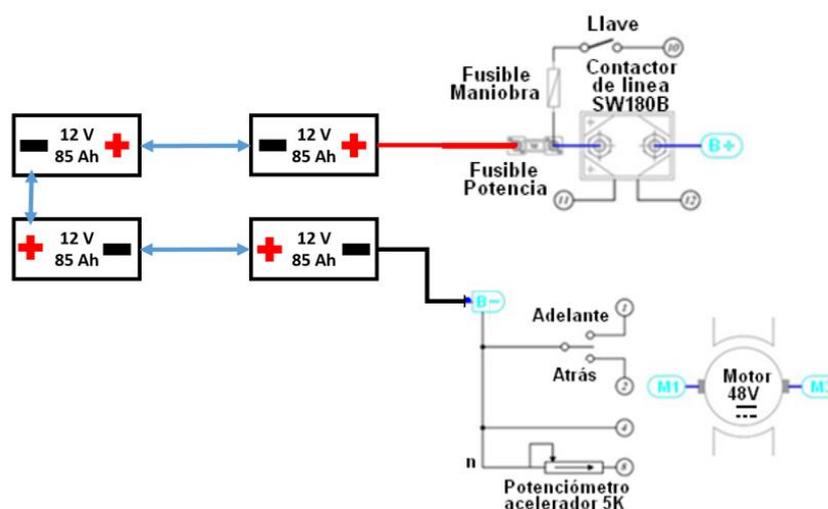


Figura 2.20 Conexión del circuito de potencia

(Autores, 2020)

En la tabla 2.28, se describen los pines a utilizar en el módulo de aceleración con su respectiva función.

Tabla 2.28 Conexión de terminales

CONECTOR A	FUNCIÓN	GRÁFICO
Pin 1	Marcha adelante o atrás	
Pin 2	Marcha adelante o atrás	
Pin 4	Masa B-	
Pin 8	Acelerador /freno	
Pin 9	Acelerador /freno	
Pin 10	Llave de accionamiento	
Pin 11	Alimentación bobinas +	
Pin 12	Bobinas -	
CONEXIÓN DE TERMINALES DE POTENCIA		
TERMINAL	FUNCIÓN	GRÁFICO
B+	Positivo fuente baterías (fusible protección)	
B-	Negativo fuente baterías	
M1	Negativo motor	
M3	Positivo motor	

Fuente: (Autores, 2020)

Para un mejor entendimiento refiérase al manual del fabricante siguiendo el enlace descrito en el apartado de bibliografía.

A continuación, se procedió a la instalación del módulo de aceleración como se detalla en el manual de fabricante, el swich de encendido se conectará al pin 10 y a un fusible maniobra a la salida del fusible de potencia, nótese que en la figura 2.21, se instaló un contactor de línea a la salida de la fuente de alimentación positiva de las baterías, el mismo que servirá como protección para el módulo en caso de sobrecarga conectado al pin 11 (positivo) y el pin 12 (negativo) perteneciente a las bobinas, además se configuró un swich de tres señales para la posición del motor conectado a los pines 1-2 del conector A y al B- del módulo, fue necesario la utilización de un potenciómetro de aceleración el cual debe ir conectado al pin 8 del conector A y al B-, la regulación por PWM se la realiza en el conector B específicamente en el pin 4.

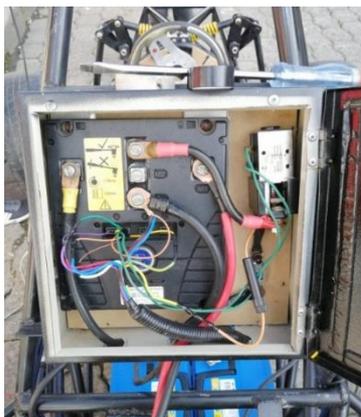


Figura 2.21 Conexión módulo de aceleración

(Autores, 2020)

2.2.8.1. Adaptación pedal de aceleración

La función principal del módulo sigma drive PMT445M es acelerar el motor progresivamente con el uso de un potenciómetro lineal de 5-10 kilo ohms, dicho procedimiento lo realiza mediante PWM (modulación de ancho de pulso).

El potenciómetro de aceleración giratorio fue adaptado a un pedal mismo que fue instalado en la parte interior frontal del buggy eléctrico, actualmente existen varios modelos y marcas que se ofertan en línea, una opción recomendable es la utilización de pedales de consola mismos que utilizan potenciómetros de baja resistencia.



Figura 2.22 Pedal de aceleración con potenciómetro

(Autores, 2020)

Se realizó la sustitución del potenciómetro por uno de 10kilo ohms recomendado por el fabricante del módulo de aceleración sigma drive PMT445M.



Figura 2.23 Instalación y sustitución del potenciómetro de aceleración

(Autores, 2020)

Finalmente, se comprobó la aceleración y desaceleración del monoplaza eléctrico obteniendo un excelente resultado.

2.2.9. Diagnóstico del monoplaza tipo buggy con motor de combustión interna

Tabla 2.29 Diagnostico motor de combustión interna

PARTE/SISTEMA	ESTADO	OBSERVACIONES	SOLUCIÓN
Caja de velocidades	Bueno	Funcionando	Ninguna
Eje de tracción	Malo	Funcionando	Lubricación de cadena y cardan.
Dirección	Bueno	Funcionando	Ninguna
Asiento	Malo	Roto	Soldar el soporte del asiento.
Estructura	Malo	Oxidación y fractura.	Soldar, lijar y pintar las partes afectadas
Motor	Malo	Falta de mantenimiento	Cambio de aceite, limpieza de carburador, reemplazo de bujía, cambio de filtro de combustible y aire.
Ruedas delanteras y posterior	Malo	Desinfladas.	Inflar y medir la presión de cada una de las ruedas.
Batería	Malo	Dañada.	Se reemplazó la batería.
Sistemas de freno	Malo	Freno bajo.	Purga del sistema de frenos y cambio de líquido de frenos.
Sistema de embrague	Malo	Cable roto.	Reemplazo de la funda y cable de embrague.
Sistema de aceleración	Malo	Cable sin protección.	Reemplazo de la funda y cable de aceleración.

Fuente: (Autores, 2020)

2.2.10. Preparación previa del vehículo tipo buggy para pruebas en el dinamómetro inercial

Antes de realizar las pruebas en el dinamómetro se debe tomar en cuenta el aspecto de seguridad, para de esta manera cuidar del bienestar del operador y obtener resultados positivos: por lo cual se deben considerar las siguientes medidas de prevención:

1. Implementos de protección personal (mandil, casco, calzado punta de acero, audífonos industriales).
2. Inmovilizar el vehículo a través de anclajes.
3. Verificar que las ruedas motrices del buggy se encuentren alineadas con los rodillos del dinamómetro inercial, antes de realizar las pruebas.
4. Ventilación del área de trabajo.

A través de las pruebas se podrá verificar el rendimiento y desempeño de cada uno de los buggies mediante datos que serán entregados por el dinamómetro inercial.

2.2.11. Ejecución de pruebas y toma de medidas

Antes de realizar las pruebas respectivas a cada uno de los buggies, se deben considerar los siguientes aspectos:

1. Verificar que las ruedas posteriores del buggy se encuentren alineadas y centradas con los rodillos y la línea de marcha del dinamómetro, luego se procede con la fijación del vehículo al suelo, a través de los elementos de seguridad.
2. Para el anclaje del vehículo tipo buggy, los elementos de seguridad deben sujetarse tanto en la parte delantera como en la parte trasera al bastidor del vehículo.



Figura 2.24 Anclaje de vehículos

(Autores, 2021)

En la figura 2.24, se observa el anclaje de los dos vehículos tipo buggies, sujetos por cintas y por anclajes adheridos al suelo, también se observa la alineación de las ruedas motrices con los rodillos del dinamómetro inercial.

3. Las pruebas se desarrollaron en un lugar cerrado, por tal motivo es recomendable la utilización de un ventilador, colocado frente al motor de cada uno de los vehículos evitando su recalentamiento al momento de realizarse cada una de las pruebas.

2.2.12. Cálculo del par motor

La ecuación descrita a continuación servirá de guía para la comprobación de los valores obtenidos a través del dinamómetro.

Tabla 2.30 Ecuación cálculo par motor

<p>a) Fórmula cálculo de la potencia del motor.</p> $P = T \times rev$ <p>[2.18]</p> <p>P= potencia. T= par motor rev= revoluciones por minuto.</p>
<p>b) Fórmula para el cálculo del torque del motor</p> $T = \frac{P}{rev}$ <p>[2.19]</p>

Fuente: (Autores, 2021)

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el siguiente capítulo se detallan los resultados obtenidos de torque y potencia en las pruebas dinamométricas, se realizó una comparativa entre dos vehículos, el primero con un motor de encendido provocado y el segundo con motor eléctrico, tal como se describe en el anterior capítulo.

Los resultados se expresan con gráficas, determinando así la diferencia del efecto que tiene cada uno de los vehículos tipo buggy en pruebas de torque y potencia para obtener su respectivo rendimiento.

3.1. Obtención de datos

Para realizar las pruebas dinamométricas en cada vehículo tipo buggy se consideró los siguientes parámetros:

a) **Relación de transmisión a la rueda:** el sistema de transmisión de los dos vehículos es a través de piñones y cadenilla en donde, el vehículo tipo buggy con motor eléctrico dispone de una relación de transmisión de 3.15 a 1 y el vehículo tipo buggy con motor de combustión interna dispone de una relación de transmisión de 3.29 a 1 es decir se considera un margen de error de 4.3%.

b) **Peso:** los dos vehículos poseen pesos similares, el vehículo tipo buggy con motor eléctrico dispone de 287 kg, mientras que el vehículo con motor de combustión dispone de 290 kg, debemos considerar que los pesos de cada vehículo al momento de realizar las pruebas dinamométricas pueden variar en función del peso del piloto.

c) **Caja de cambios:** es muy importante mencionar al momento de realizar las pruebas los dos vehículos deben presentar el mismo giro y la misma fuerza que llega del motor es decir una relación de transmisión 1 a 1, bajo este concepto se consideró; el vehículo con motor eléctrico no dispone de una caja de cambios, esto se debe a que su aceleración es constante debido a la configuración del módulo de aceleración (sigma drive PMT445M) conjuntamente con el potenciómetro y la toma de datos se realiza de manera directa, el vehículo tipo buggy con motor de combustión interna si dispone de una caja de cambios de cuatro marchas en donde la toma de datos se realiza en la cuarta marcha o marcha directa.

3.2. Datos generales del buggy de combustión interna obtenidos en las pruebas de dinamómetro

Tabla 3.1 Comparativa general pruebas dinamométricas buggy de combustión interna

Prueba	Potencia	Torque	Régimen	Velocidad
Prueba 1	4.7 hp	11.64 Nm	2900 rpm	50 km/h
Prueba 2	4.2 hp	8.00 Nm	3700 rpm	57 km/h
Prueba 3	4.6 hp	11.3 Nm	2900 rpm	53 km/h
Prueba 4	4.8 hp	11.59 Nm	2950 rpm	52 km/h
Prueba 5	5 hp	11.56 Nm	3080 rpm	51 km/h
Resultado	4.66 hp	10.81 Nm	3.106 rpm	52.6 km/h

Fuente: (Autores, 2021)

Como se puede observar en la tabla 3.1, se realizaron cinco pruebas donde se obtuvieron dos curvas características del motor de combustión interna, se consideró la potencia máxima a la rueda y el par motor máximo a la rueda como se observa en Anexos III, se debe mencionar que los valores fueron obtenidos a través de las pruebas realizadas en el dinamómetro. Se logró obtener una potencia de 4.66 hp, como también valores de par motor de 10.81 Nm. Valores aceptables considerando un motor de 197 c.c como se puede apreciar en el apartado anterior en la tabla 2.2.

3.3. Datos generales del buggy eléctrico obtenidos en las pruebas del dinamómetro

Tabla 3.2 Comparativa general pruebas dinamométricas buggy eléctrico

Prueba	Potencia	Torque	Régimen	Velocidad
Prueba 1	4.2 hp	10.30 Nm	2900 rpm	51 km/h
Prueba 2	8.35 hp	20.38 Nm	2900 rpm	65 km/h
Prueba 3	5.4 hp	13.27 Nm	2900 rpm	51 km/h
Prueba 4	5.5 hp	13.51 Nm	2900 rpm	51 km/h
Prueba 5	5.60 hp	13.75 Nm	2900 rpm	51 km/h
Resultado	5.81 hp	14.24 Nm	2900 rpm	53.8 km/h

Fuente: (Autores, 2021)

La comparativa de la tabla 3.2 ofrece un resumen de las cinco pruebas realizadas al buggy con motor eléctrico en donde se puede establecer que la aceleración del motor eléctrico es constante gracias al módulo de aceleración juntamente con el potenciómetro, además, el régimen de giro también es constante, ya que, no existe una caja de cambios que varíe la relación

de transmisión motor-eje motriz. Se consideró la potencia máxima a la rueda datos entregados por el dinamómetro como se observa en Anexos III, se debe mencionar que los valores obtenidos del par motor máximo a la rueda se derivan de la ecuación 2.18, que se menciona en el capítulo de metodología. Se logró obtener una potencia de 5.81 hp, como también un par motor de 14.24 Nm. Valores aceptables considerando un motor eléctrico Manta de 10 hp como se especifica en la tabla 2.1, en el capítulo anterior.

3.4. Comparación de curvas par motor y potencia, buggy de encendido provocado vs buggy con motor eléctrico

A continuación, se presenta una comparación gráfica que evidencia la diferencia en los valores obtenidos en las pruebas dinamométricas aplicadas a cada uno de los buggies en las diversas pruebas, donde están involucrados los promedios obtenidos de par motor y potencia.

a. Comparación de la potencia entre buggy eléctrico y buggy con motor de combustión interna

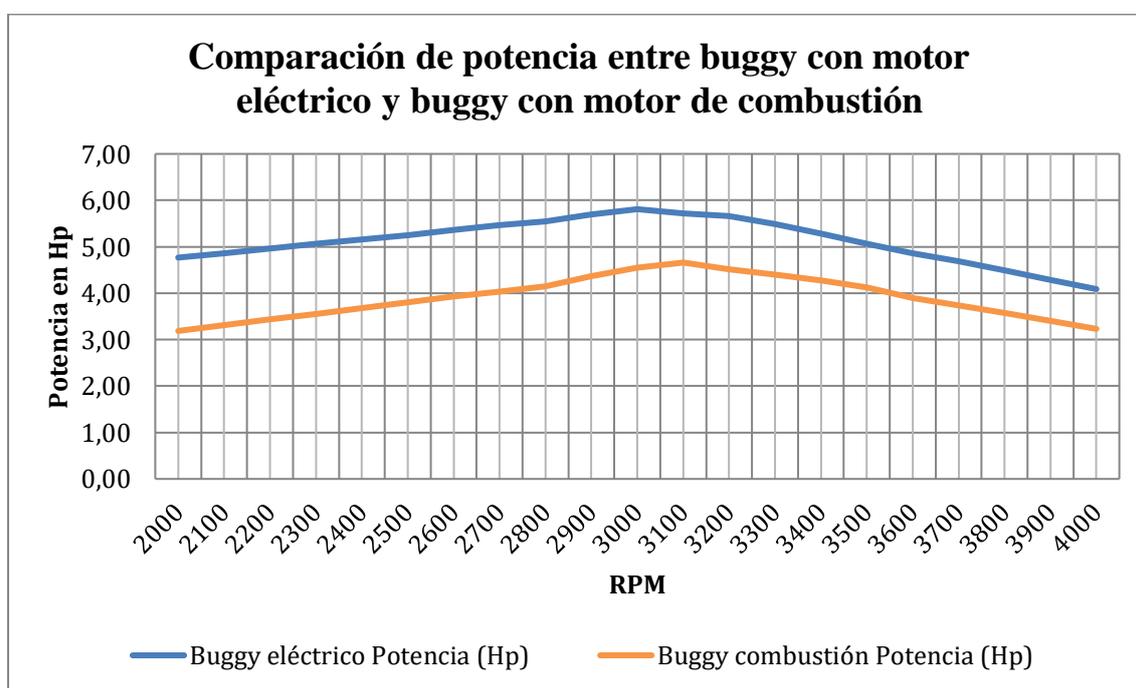


Figura 3.1 Comparativa curva de potencia buggy eléctrico-buggy combustión

(Autores, 2021)

Se llegó a determinar a través de la comparativa de resultados, que el vehículo tipo buggy con motor eléctrico alcanzó una potencia máxima de 5.81 hp, a diferencia del buggy con motor de combustión interna que alcanzó una potencia máxima de 4.66 hp.

En la figura 3.1, se puede observar las curvas de potencia máxima de los dos vehículos tipo buggy, considerando un 19.79% de diferencia en su resultado final, en donde el vehículo con motor eléctrico presenta mayor potencia que el vehículo con motor de combustión interna.

b. Comparación del par motor entre buggy eléctrico y buggy de combustión interna.

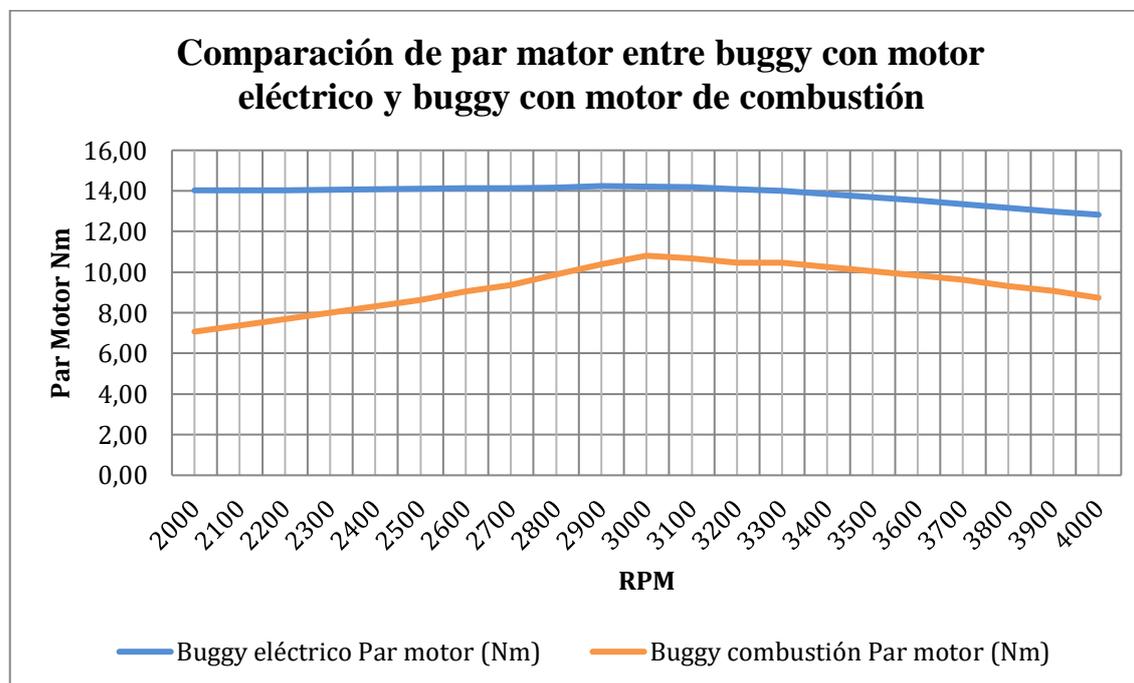


Figura 3.2 Comparativa curva de par motor buggy eléctrico-buggy combustión

(Autores, 2021)

A través de la comparativa de resultados, el vehículo tipo buggy con motor eléctrico alcanzó un par motor máximo de 14.24 Nm, a diferencia del buggy con motor de combustión interna alcanzando un par motor máximo de 10.81 Nm.

En la figura 3.2 se puede apreciar las curvas generadas a través de los datos globales obtenidos en las pruebas dinamométricas, donde se obtuvo una diferencia del 24.08%, en donde el vehículo tipo buggy con motor eléctrico presenta mayor par motor en relación con el vehículo tipo buggy con motor de combustión interna. Las pruebas dinamométricas se realizaron en similares condiciones de funcionamiento, de igual manera los dos vehículos poseen similares características de diseño, en lo que refiere a su estructura, peso y cuentan con motores similares respecto a su potencia.

Dentro de la investigación realizada se determina que existen variedades de sistemas que nos permitan la conversión total de vehículos de combustión a eléctricos, el vehículo tipo buggy

con motor eléctrico presentó como resultado un mayor par motor alrededor del 24.08% y una mayor potencia alrededor del 19.79% en relación con el vehículo tipo buggy con motor de combustión interna, considerando que su aplicación resultó ser exitosa en este tipo de vehículos.

A partir de esta propuesta, se presentan dos vehículos tipo buggy, se puede determinar que la utilización de un motor eléctrico es conveniente y no afecta en las prestaciones que debe cumplir durante la operación del vehículo, también este motor nos presenta algunos aspectos importantes, a través de las pruebas presentó mayor par motor y potencia, presta las mismas condiciones de funcionamiento que un vehículo convencional, es más amigable con el medio ambiente, no requiere de aceite y también, no necesita quemar combustible para su funcionamiento, reduce los costos de mantenimiento y la conducción es más sencilla ya que no dispone de una caja de cambios como en un motor de combustión interna.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Dentro de la investigación realizada, se encontró que existen varios modelos ya simulados en lo que refiere a la estructura tubular del vehículo con normativa *sae student*, incluyendo el tipo de material seleccionado en base a su resistencia y el costo que se encuentra en el mercado lo que facilitó su construcción y ensamble con éxito.
- El sistema de suspensión denominado *push-rod* que se desarrolló es el más adecuado para usarse en monoplazas con normativa *sae student*, ya que se acopló perfectamente al diseño del chasis tubular, además su flexibilidad permitió una conducción suave que se asemeja a un vehículo convencional, finalmente su menor peso a diferencia de otros tipos de suspensiones no comprometió el desempeño del vehículo eléctrico.
- Para la obtención de los resultados fue necesario desarrollar diferentes procedimientos que permitan a los dos tipos de motores entregar su mayor desempeño en el dinamómetro, la alimentación del motor eléctrico se constituye principalmente de baterías de 85 Ah con una configuración en serie entregando así 48 V, siendo esta una configuración idónea para un desempeño máximo, en cuanto al motor de combustión fue necesario realizar una puesta a punto reemplazando componentes defectuosos lo cual permitió alcanzar de igual forma su máximo desempeño.
- Como se pudo observar en la utilización del dinamómetro automotriz los valores obtenidos fueron para el vehículo tipo buggy con motor eléctrico una potencia máxima de 5.85 hp y un torque máximo de 14 Nm a diferencia del buggy con motor de combustión interna que alcanza una potencia máxima de 4.3 hp y un torque máximo de 10.2 Nm, concluyendo así que el buggy con motor eléctrico genera un 24,08% de torque y un 19,79 % de potencia que el buggy con motor de combustión interna, cabe recalcar que el peso, relación de transmisión en los dos tipos de vehículos son similares.

4.2. RECOMENDACIONES

- Para la construcción de la estructura tubular del buggy eléctrico se recomienda utilizar una soldadura MIG/MAG, debido a que presenta un hilo continuo evitando así deformaciones, oxidación y escoria del material generando un acabado uniforme.
- Para la construcción de la suspensión del vehículo eléctrico se recomienda utilizar materiales ligeros, así como también de gran dureza (aluminio, fibra de carbono) reduciendo así el peso total en toda la estructura lo que evitará que el desempeño del vehículo se vea comprometido.
- Una de las desventajas del buggy eléctrico es el peso de sus 4 baterías, se recomienda para futuras investigaciones utilizar baterías de ion-litio con un mayor amperaje lo que aumentará el desempeño, disminuirá el peso, así como también la cantidad de baterías obteniendo valores diferentes de desempeño a los ya obtenidos en esta investigación.
- Se recomienda realizar un mayor número de pruebas en el dinamómetro automotriz para cada tipo de vehículo debido a que si mayor es la muestra obtenida, los datos tenderán aproximarse más a condiciones reales lo cual disminuirá considerablemente el margen de error.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alba, C., & Muñoz, M. (2017). *Estudio y fabricación de una batería ácido plomo*. Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, Ciudad de México, México.
- Alvarez, V. (2018). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS TUBULAR DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIAS FÓRMULA SAE ELÉCTRICO*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- Amarilla, J. M. (2011). Baterías recargables avanzadas para vehículos eléctricos. En A. M. Pérez, *Guía del Vehículo Eléctrico* (págs. 117-138). Madrid: Madrid.(S.E.).
- Angamarca, E. (2019). *ANÁLISIS DE EMISIONES EN MOTORES DIÉSEL CON EL USO DE BIODIÉSEL PRODUCIDO MEDIANTE ULTRASONIDO A BASE DE ACEITE RECICLADO DE COCINA*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.
- Auquilla, J., & Torres, C. (2016). *Diseño del sistema de suspensión de un vehículo monoplaza eléctrico formula SAE*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Matriz Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Ávila, A. (2016). *ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DEL DINAMÓMETRO DE CHASIS MODELO X TRACCIÓN 2 RUEDAS DEL FABRICANTE DYNOCOM*. Universidad Internacional del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.
- Cáceres, C., & Vallejos, A. (2018). *RECUPERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE POTENCIA DE MOTORES A GASOLINA EN EL CENTRO DE INVESTIGACIONES CCICEV*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Cámara, G. (2015). *Un paso atrás en la contaminación del aire: novedades en automoción*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2014.09.008>
- Cando, O., & Suasnavas, V. (2014). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DINAMOMÉTRICO PARA MOTOS DE 125 CENTÍMETROS CÚBICOS*. Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, Ecuador.
- Chuquiana, E. (2014). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL TREN MOTRIZ CON MOTOR ELÉCTRICO Y TRANSMISIÓN CVT, PARA UN VEHÍCULO BIPLAZA PLEGABLE*. Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, Ecuador.

- Chuquiana, E. (2014). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL TREN MOTRIZ CON MOTORES ELÉCTRICO Y TRANSMISIÓN CVT, PARA UN VEHÍCULO BIPLAZA PLEGABLE*. Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, Ecuador.
- Chuquimarca, S., & Suin, K. (2017). *Diseño y desarrollo de una batería de alto voltaje para un vehículo de competencia tipo formula SAE eléctrico*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador .
- Contreras, E., & Sánchez, R. (2010). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRÁCTICAS EN MOTORES ELÉCTRICOS, COMO APOYO A LA ASIGNATURA DE DISEÑO DE MÁQUINAS II*. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Dagel, J. (1995). *MOTORES DIÉSEL Y SISTEMAS DE INYECCIÓN* (Tomo1 ed.). (LIMUSA, Ed.) México, México.
- Dhameja, S. (2001). *Electric Vehicle Battery Systems*. Obtenido de <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=D61185A764B4D7594EAB32D12E1B7137>
- Díaz, F. (2019). *CARACTERIZACIÓN DE LAS RUTAS DE BUSES DE TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE IBARRA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE BUSES HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS GPS*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Domingo, S. (2014). *OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE UN MOTOR DE DOS TIEMPOS Y PEQUEÑA CILINDRADA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- ElectroTec Perú-Electrónica y Robótica. (2020). *Microcontrolador vs PLC: Comparación*. Obtenido de (Entrada de blog): <https://electrotec.pe/blog/microcontroladorvsplc>
- ElectroTec Perú-Electrónica y Robótica. (2020). *PWM pulse-width modulation*. Obtenido de (Entrada de blog): <https://electrotec.pe/blog/PWM>
- Escudero, S., González, J., Rivas, J., & Suárez, A. (2011). *Motores*. España: Macmillan.
- Espín, F. (2012). *CONSTRUCCIÓN DE UN BUGGY CON UN MOTOR DE MOTOCICLETA DE 200cc DE 4 TIEMPOS*. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.

- Gil, H. (1999). *Manual de Automóvil, Reparación y Mantenimiento*. Madrid, España: Cultural S.A.
- González, L. (15 de 05 de 2013). *forococheselectricos.com*. Obtenido de Vida y muerte de una batería de ion-litio (parte II): <http://forococheselectricos.com/2013/05/vida-y-muerte-de-una-bateria-de-ion.html>
- GRUPO INFRA R. (2020). *Infra soldaduras industriales*. Obtenido de MM 261: <https://grupoinfra.com/pagina/producto/359/MM-261>
- Ibáñez, P. (07 de 2017). *Esto será lo próximo en baterías para coches eléctricos: más de 650 km de autonomía real*. Obtenido de xataka: <https://www.xataka.com/automovil/esto-sera-lo-proximo-en-baterias-para-coches-electricos-mas-de-650-km-de-autonomia-real>
- IPAC. (2020). *Tubería Estructural Redonda*.
- Jiménez, B. (2012). *Técnicas básicas de electricidad de vehículos* (Primera ed.). Andalucía, España: IC Editorial.
- Lema, E. (2019). *COMPROBACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ELECTRÓNICO CICLO OTTO USANDO BIOETANOL CON MEZCLAS E5*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.
- Liu, W. (2013). *Introduction to Hybrid Vehicle System Modeling and Control*. Obtenido de <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=C8CA60EA1E1BB0451588E5A17D371208>
- Melo, F. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR DE UN VEHÍCULO TIPO FORMULA STUDENT*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.
- Noya, C. (09 de 03 de 2015). *forococheselectricos.com*. Obtenido de Las baterías de níquel-metalhidruro (NiMH) se resisten a morir: <https://forococheselectricos.com/2015/03/las-baterias-de-niquel-metalhidruro-nimh-se-resisten-a-morir.html>
- Pauta, P., & Villacís, J. (2012). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO BIPLAZADE ESTRUCTURA TUBULAR CON MOTOR MONOCILÍNDRICO YAMAHA YFM 200*. Universidad del Azuay, Cuenca.
- PEGASUS. (2020). *Pegasus auto racing supplies*. Obtenido de Alloy Steel Metric Rod: <https://www.pegasusautoracing.com/productselection.asp?Product=3066>

Pg Drives Technology. (2017). *Sigma Drive* . Obtenido de Technical Manual:
<https://lynchmotors.co.uk/pdfs/sigma-controllers-manual.pdf>

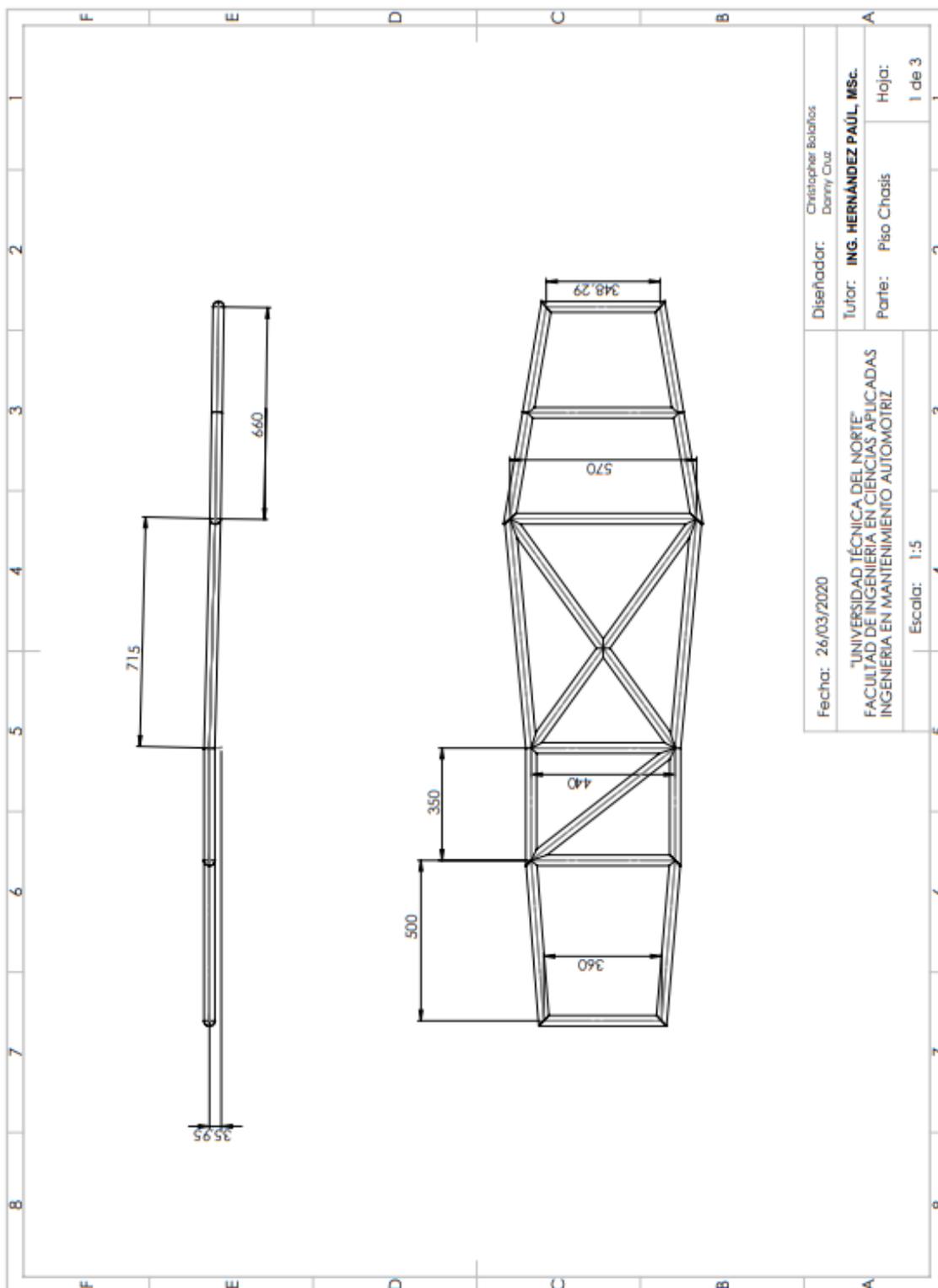
Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida . (2017). *Objetivo 3. Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.* Quito: Senplades.

Rojas, D. (2015). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA A UN VEHÍCULO MONOPLAZA PROPULSADO POR UN MOTOR ELÉCTRICO Y ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE PARA MEJORAR SU AUTONO.* Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

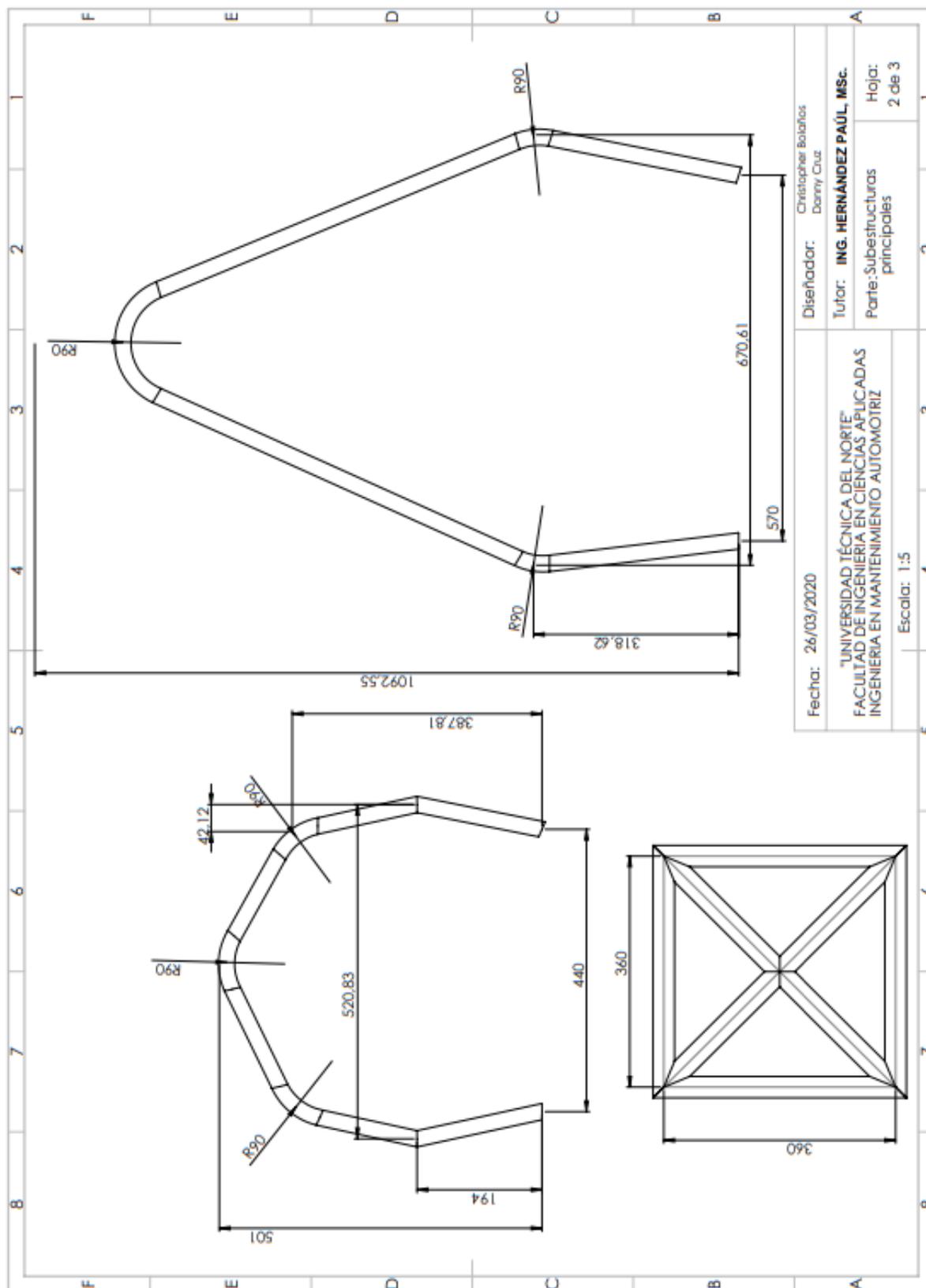
Vamag. (2017). *Manual de Operación y Mantenimiento.* Italia.

ANEXOS

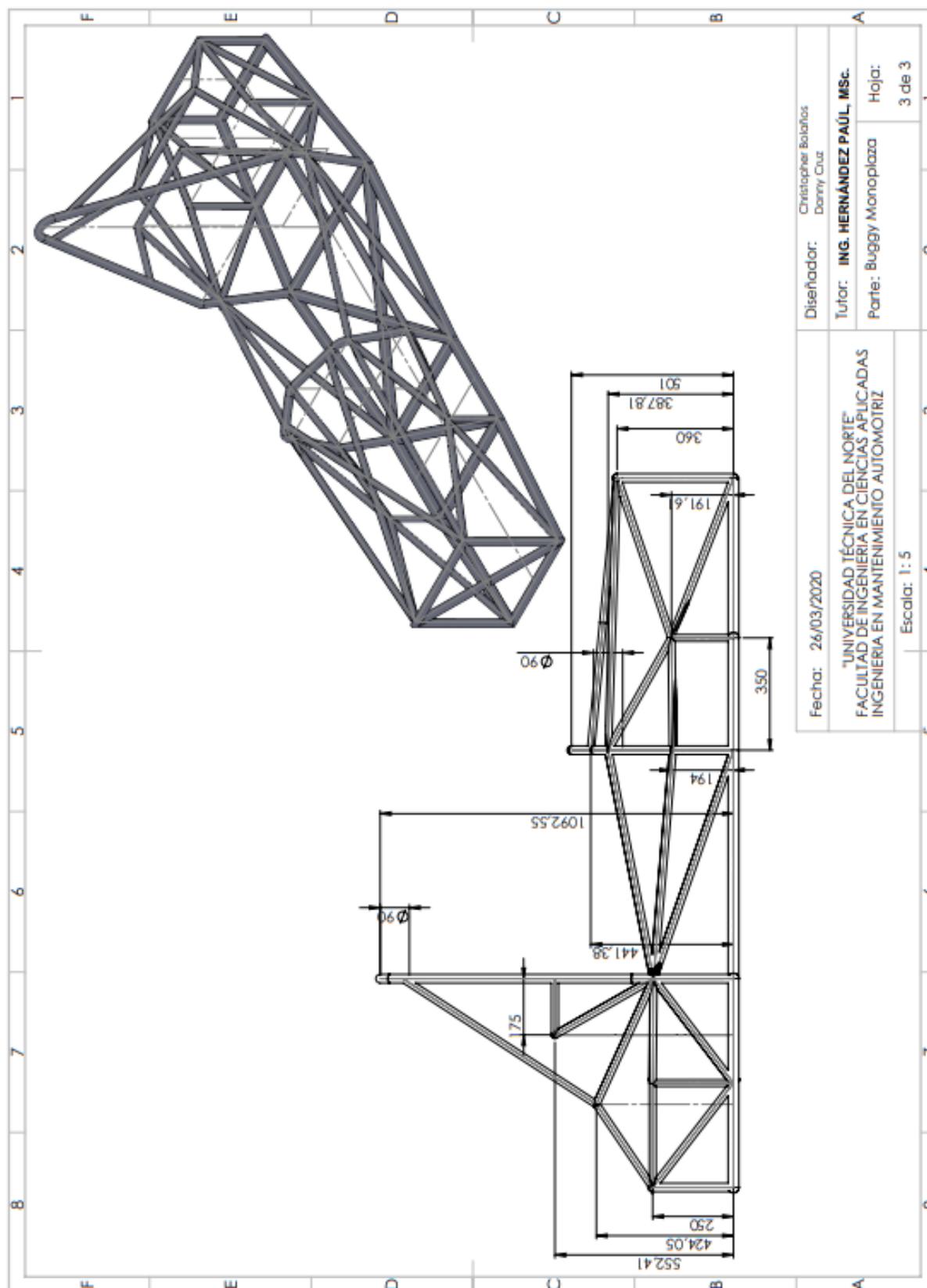
ANEXO 1 Planos y construcción Buggy Eléctrico



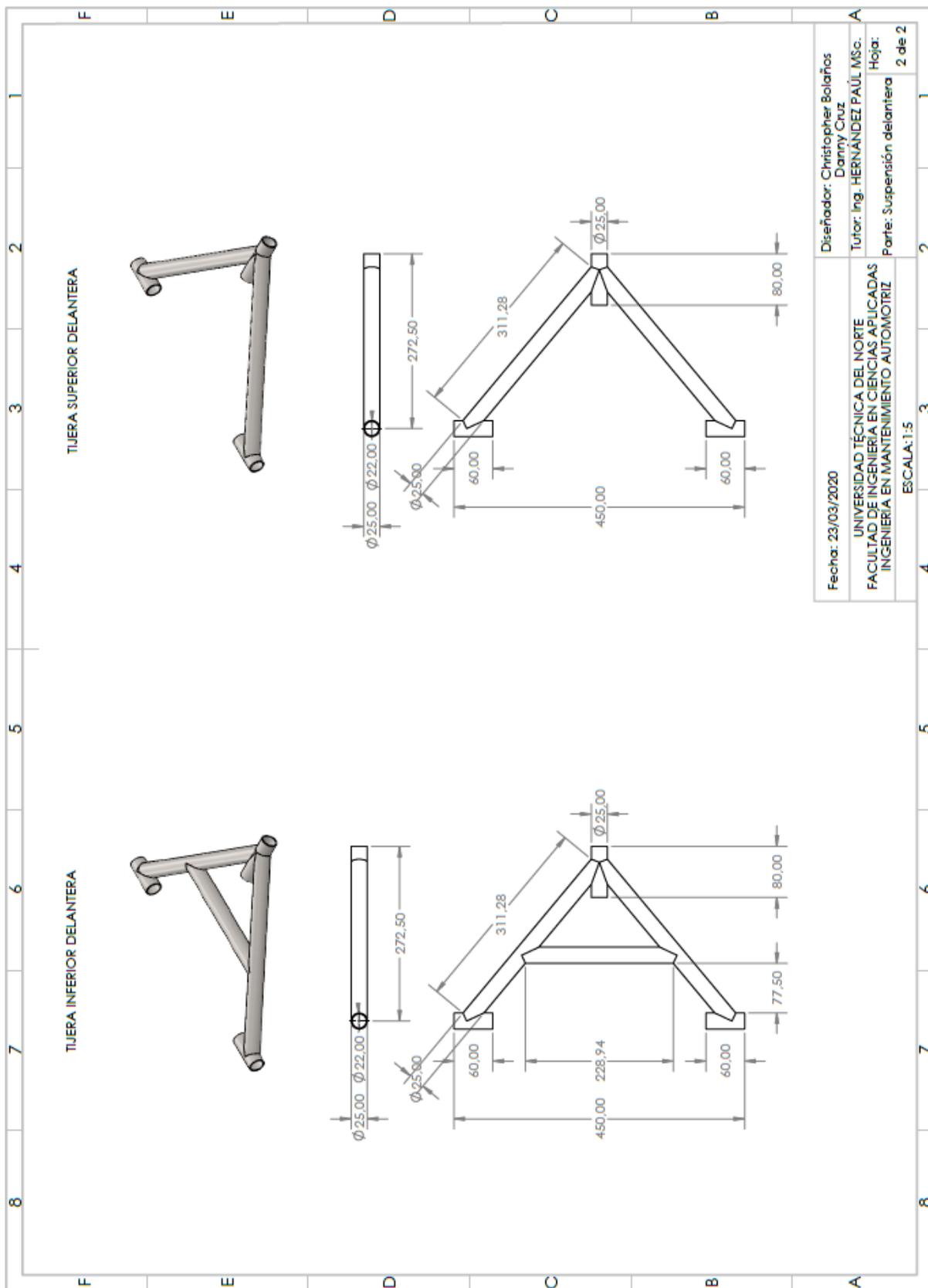
Dimensiones piso bastidor.



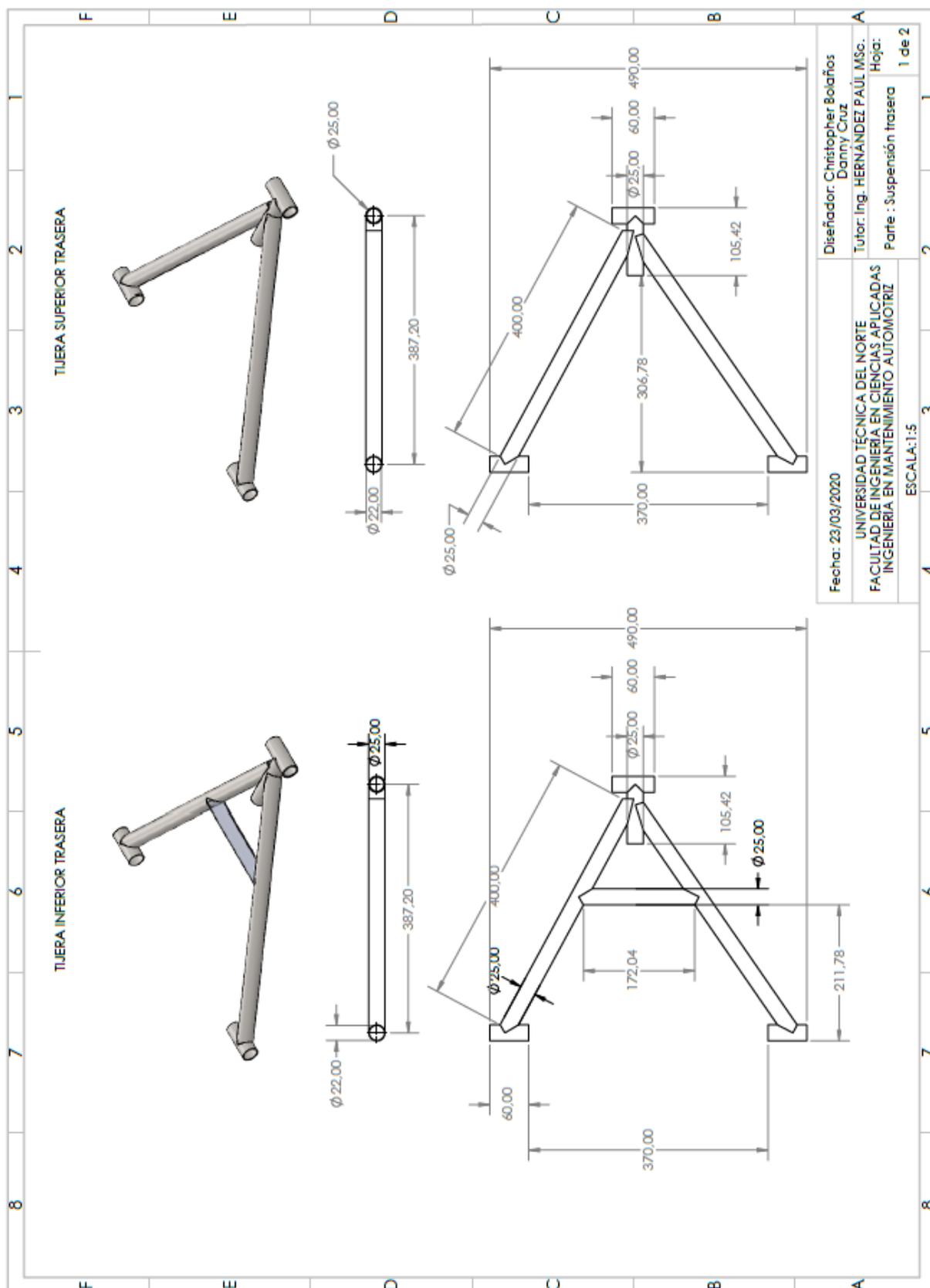
Dimensiones de subestructuras principales



Bastidor buggy monoplaza.



Suspensión tijeras delantera.



Suspensión tijeras trasera.



Buggy con motor eléctrico



Buggy con motor de combustión

ANEXO 2 Pruebas en el dinamómetro

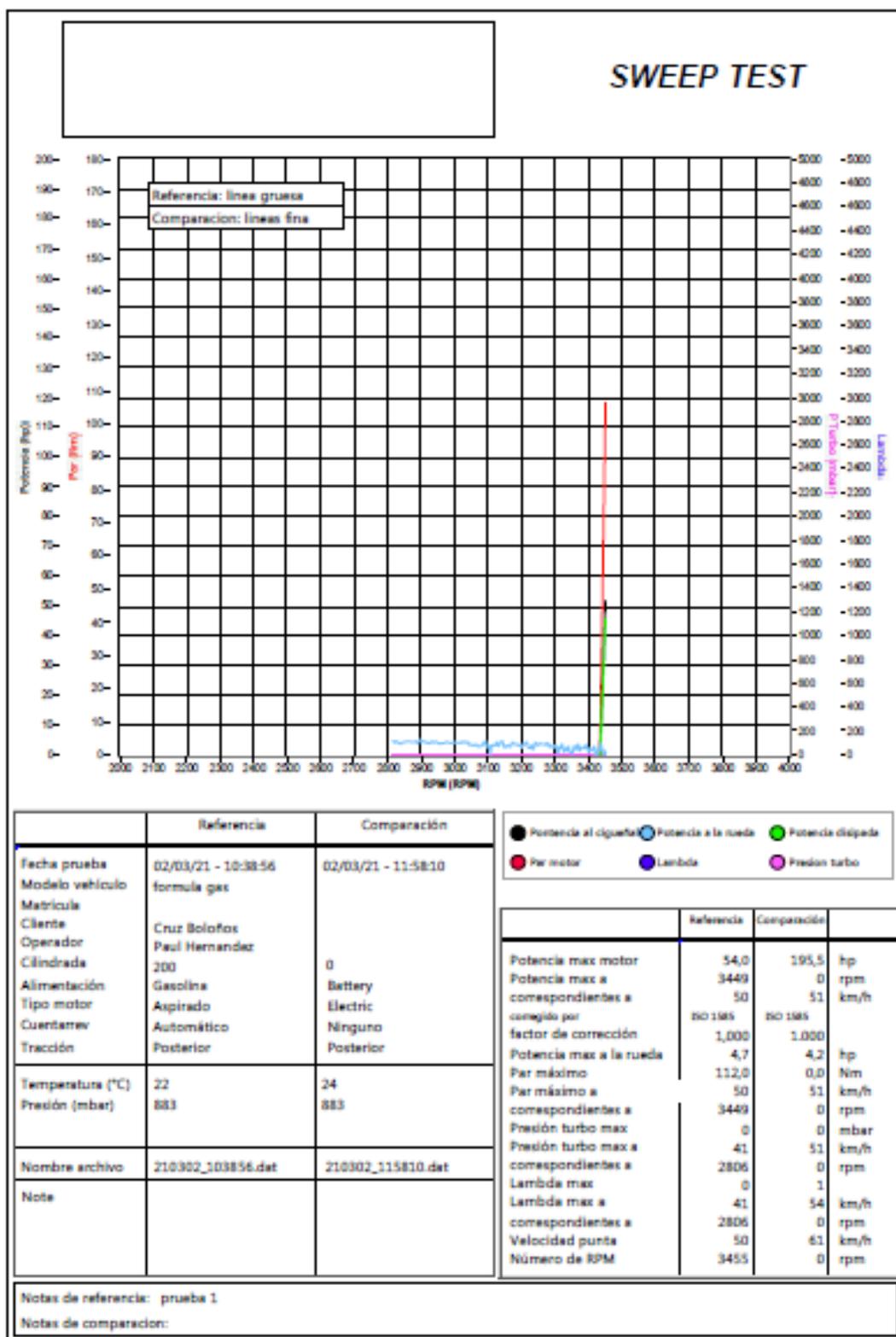


Prueba buggy con motor eléctrico.

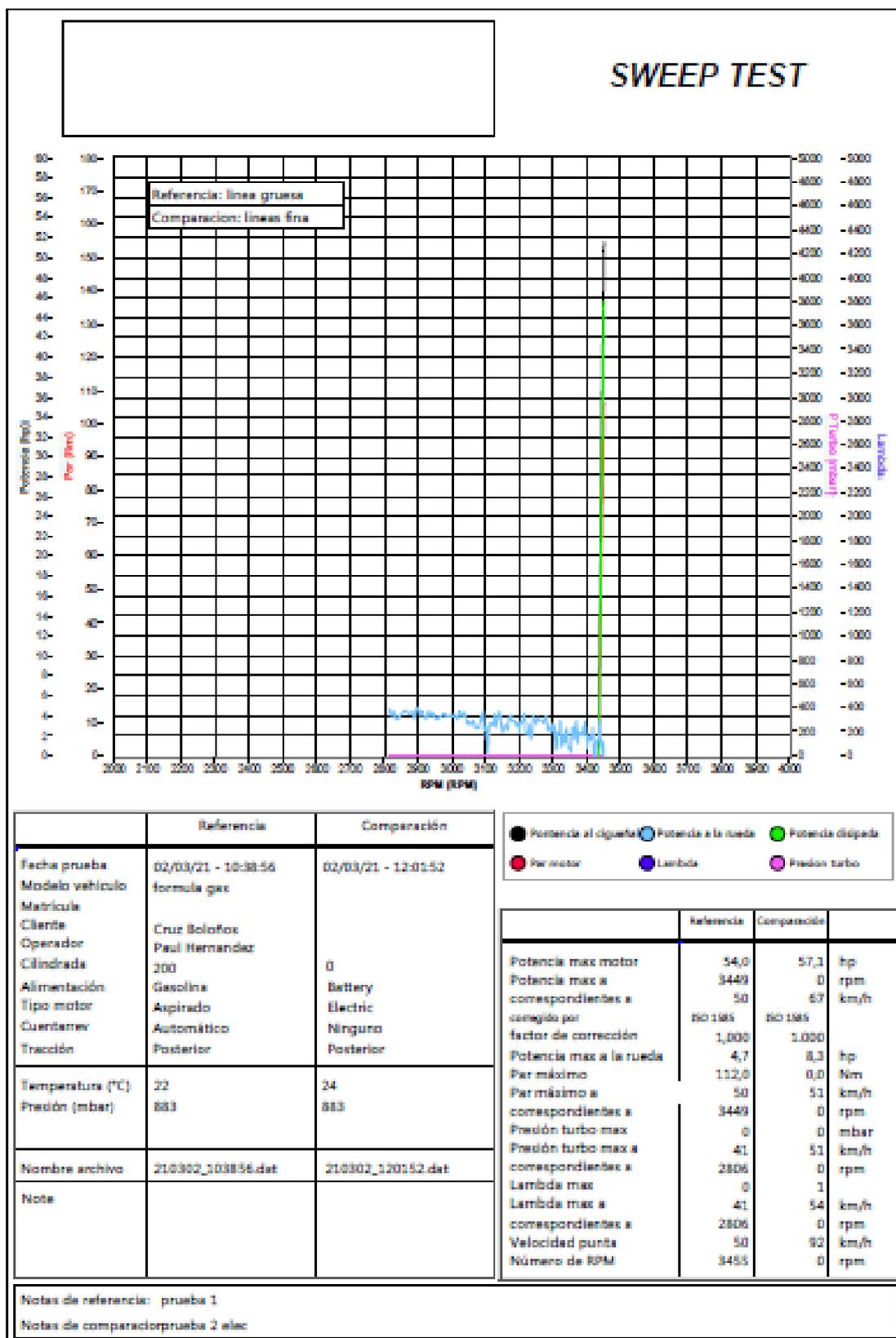


Prueba buggy con motor de combustión interna.

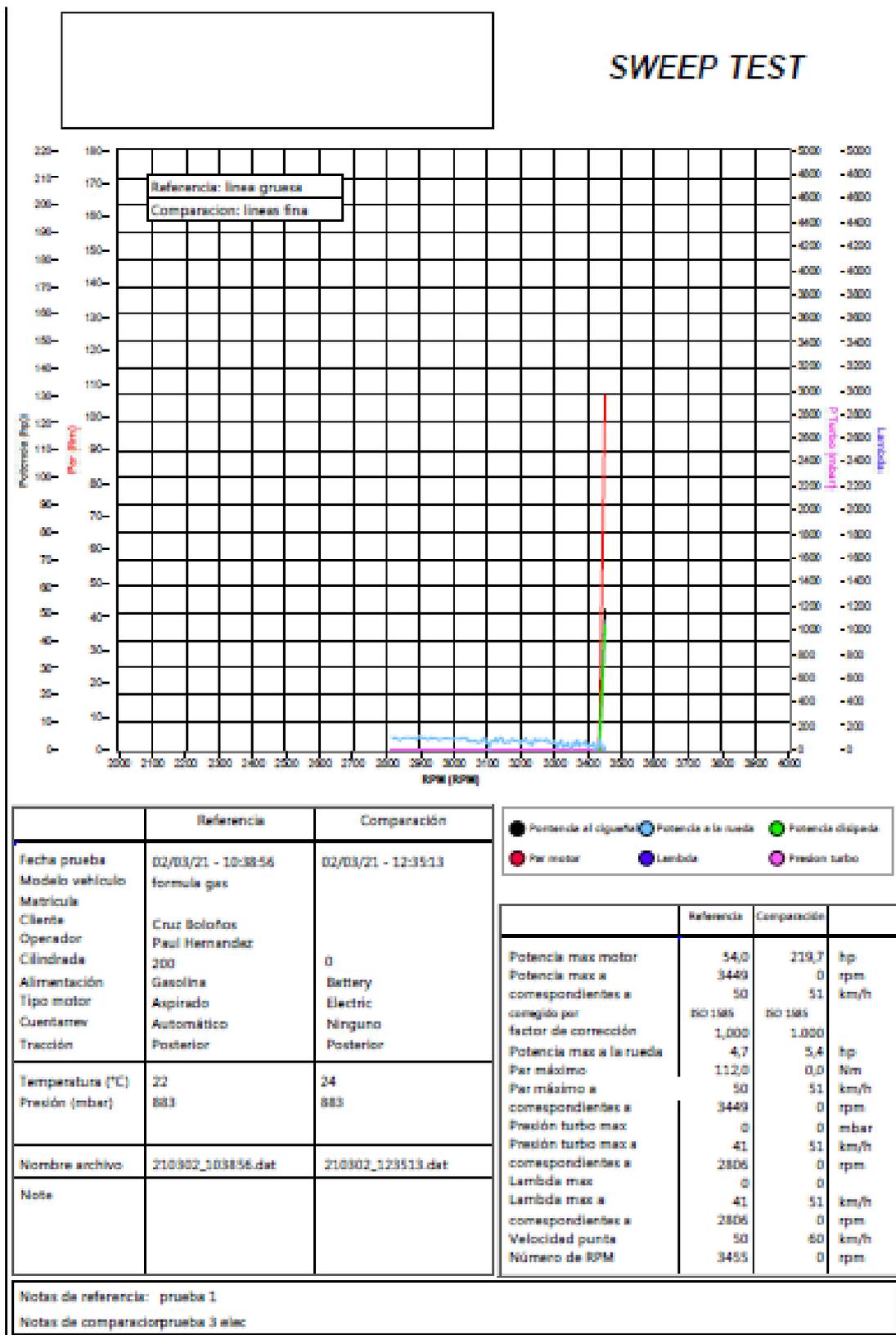
ANEXO 3 Resultados pruebas buggy con motor eléctrico



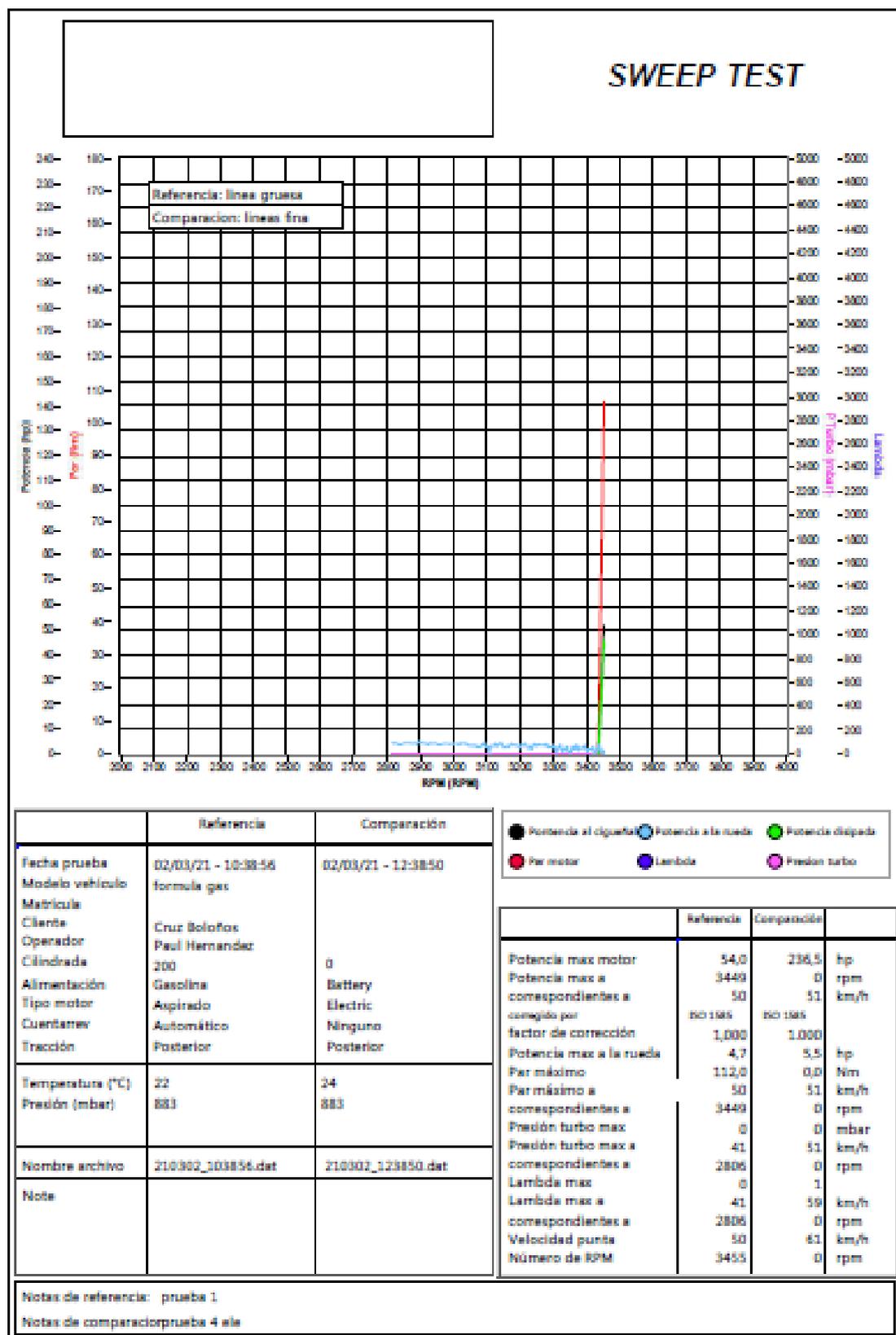
Prueba 1.



Prueba 2

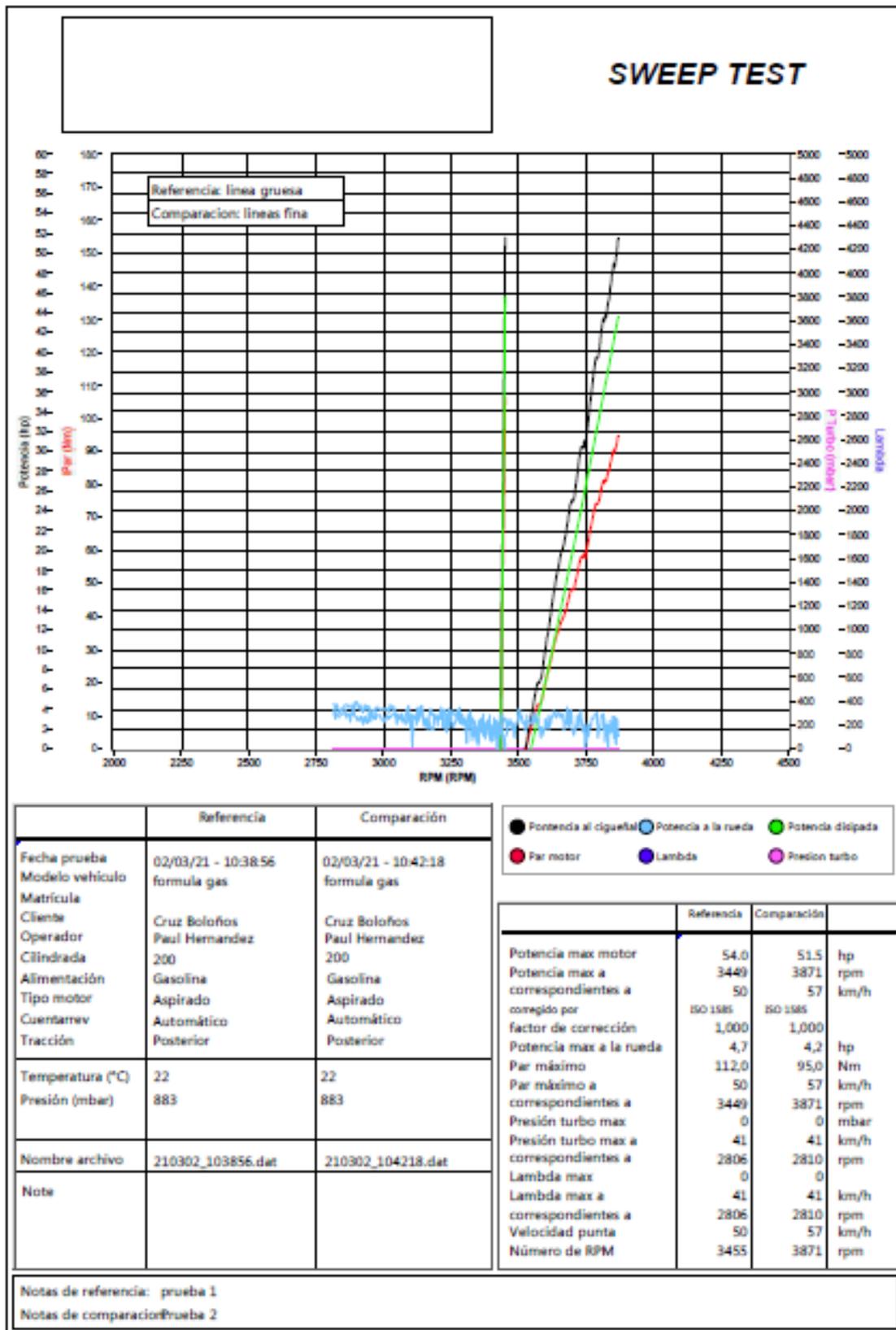


Prueba 3.

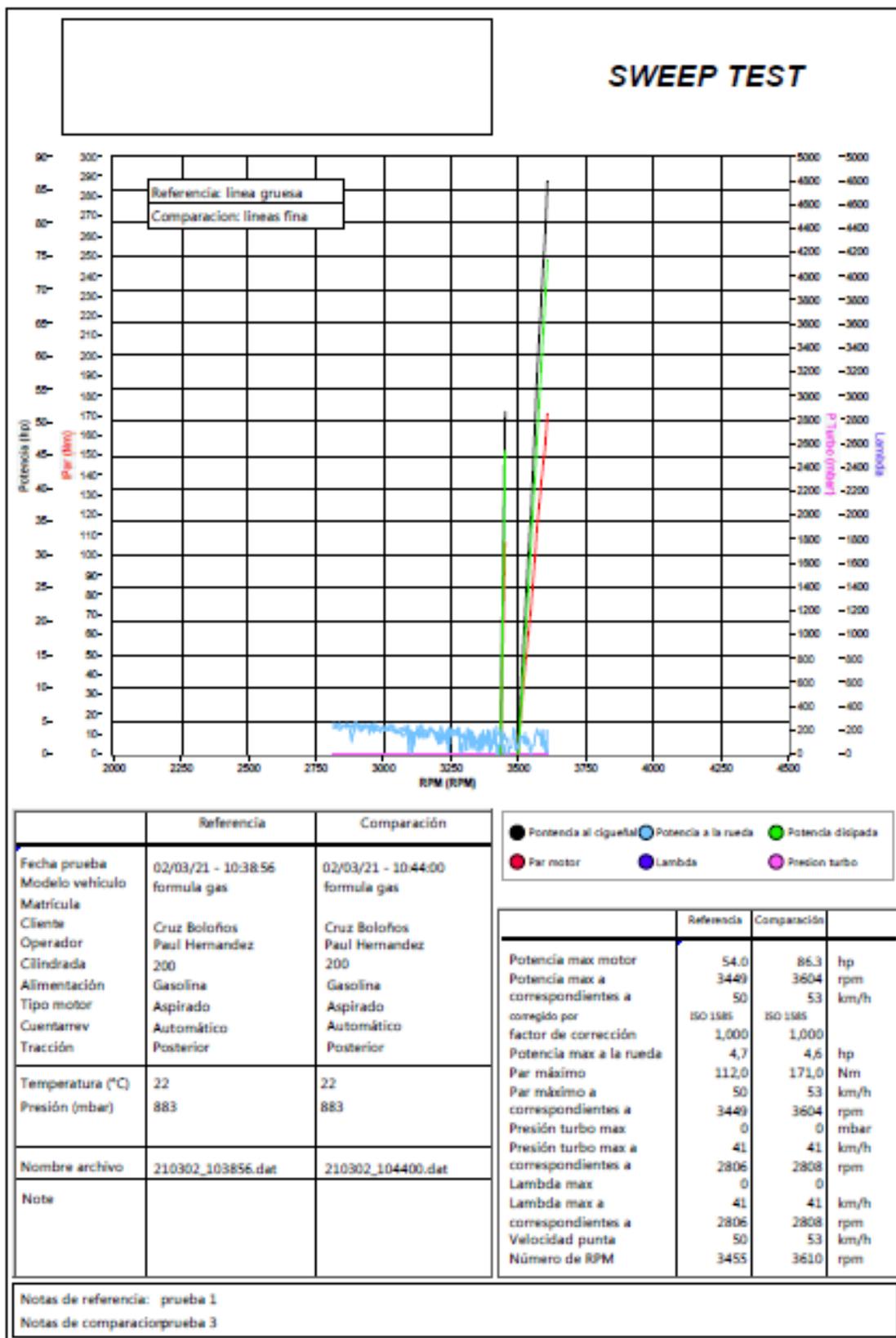


Prueba 4.

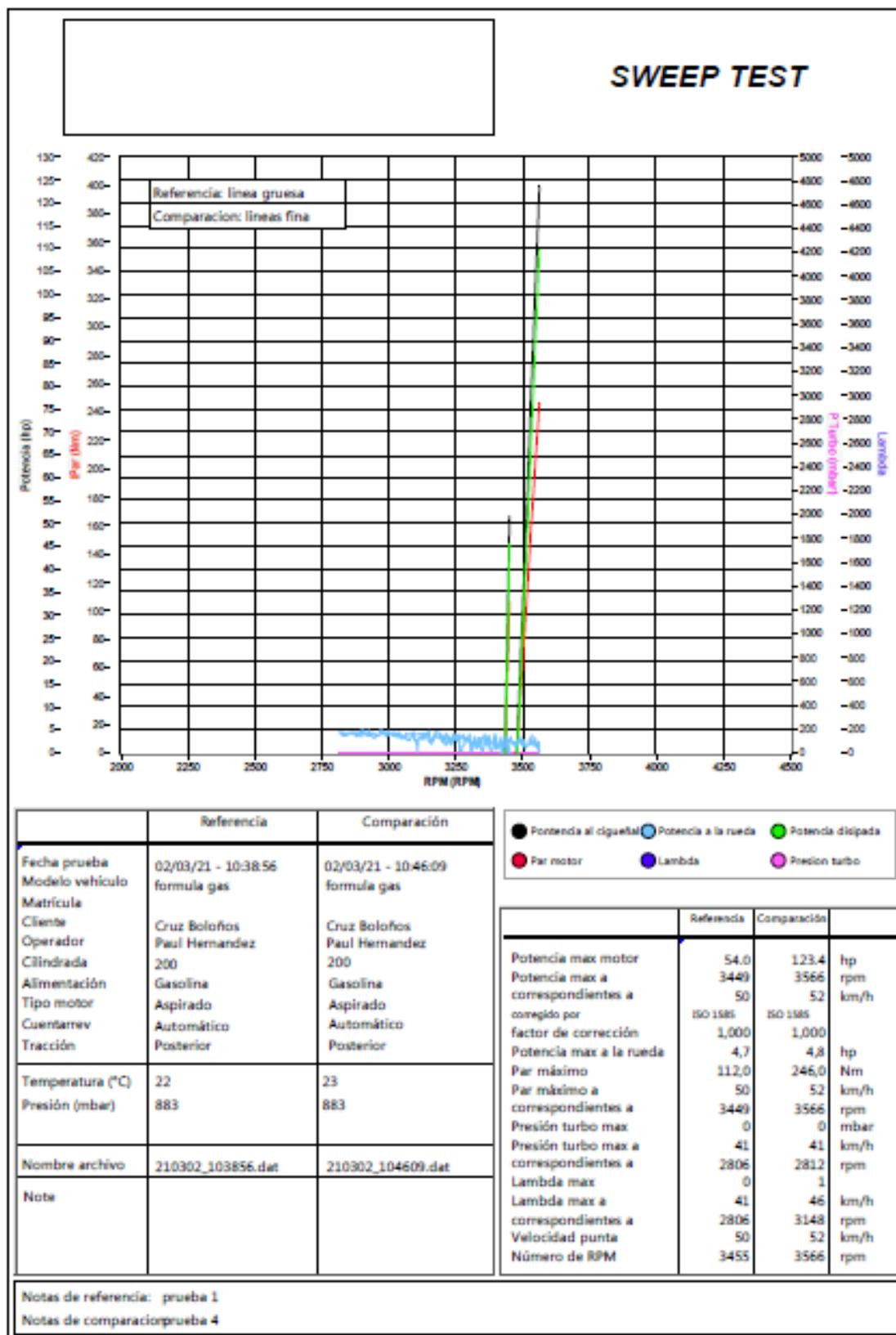
ANEXO 4 Resultados pruebas buggy con motor de combustión interna



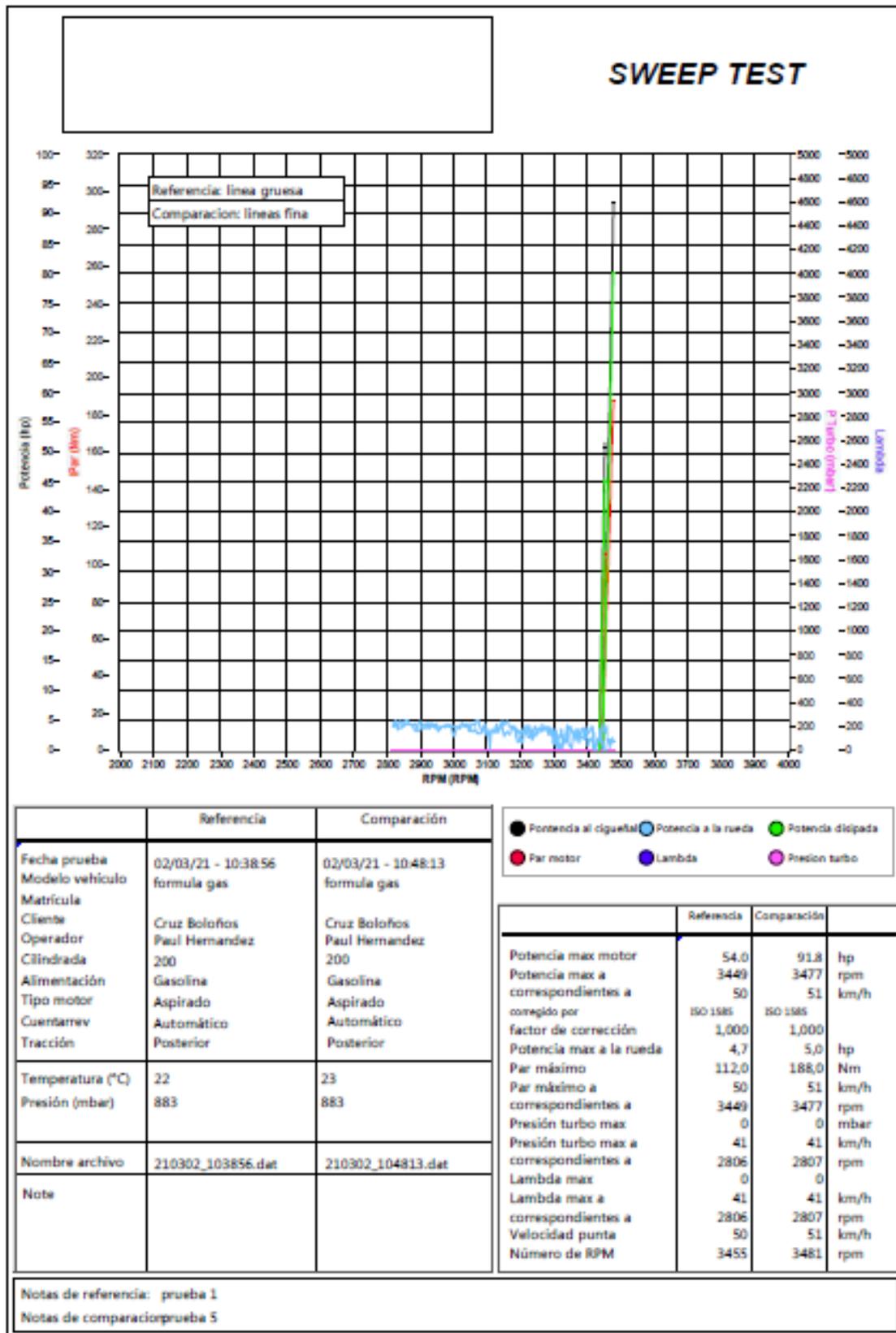
Prueba 1.



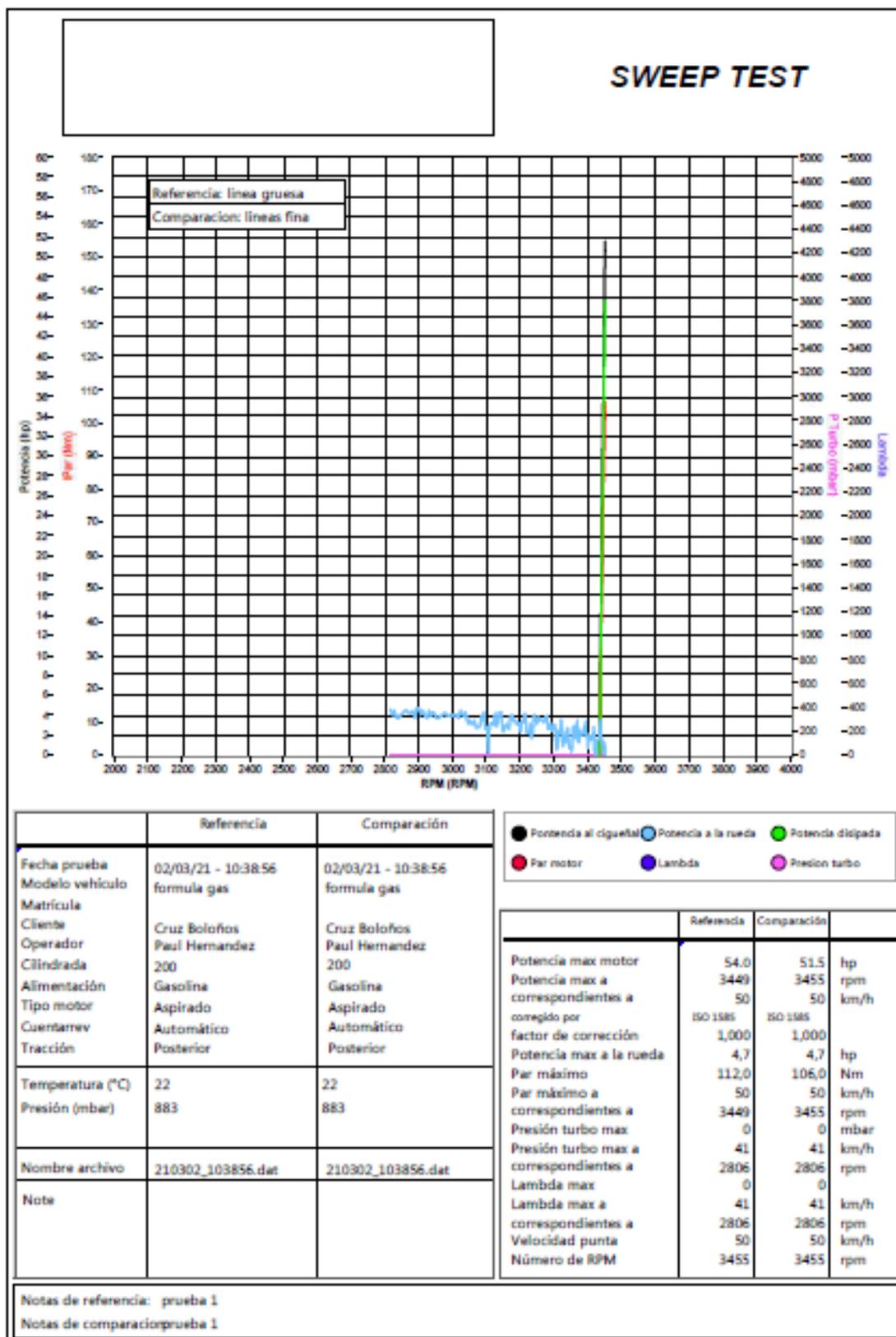
Prueba 2.



Prueba 3.



Prueba 4.



ANEXO 5 Cálculo suspensión

Datos vehículo eléctrico:

Peso: 293 kg

Distancia de ejes: 1535 mm

Ancho de vía delantera: 1200 mm

Ancho de vía posterior: 1200 mm

Distancia del piso: 400 mm

Centro de gravedad: 500 mm

Distribución de masa delantera: 40 %

Distribución de masa posterior: 60 %

Cargas permanentes Y_G : 1.3

Cargas variables Y_Q : 1.5

Cálculo de transferencia de masa en frenada.

Dónde:

df = Distancia de frenado.

v^2 = velocidad al momento de frenado

e = coeficiente de fricción

Se considera una velocidad de 72.78 KM/h y el coeficiente de fricción de las llantas de 0.85.

$$df = \frac{v^2}{254e}$$

$$df = \frac{72.78^2}{254e}$$

$$df = 24.53 \text{ m}$$

Desaceleración de frenado.

af = Desaceleración de frenado.

df = Distancia de frenado.

$$af = \frac{v^2}{2 \times df}$$

$$af = \frac{20^2}{2 \times 24.53}$$

	$af = 8.15 \text{ m/s}^2$
Transferencia de masa de frenada.	
$wf =$ transferencia de masa (N) $a =$ Aceleración (m/s^2) $m =$ Masa total (kg) $h =$ Altura centro de gravedad (m) $l =$ Distancia entre ejes (m)	$wf = \frac{a \times m \times h}{l}$ $wf = \frac{8.15 \times 293 \times 0.5}{1.535}$ $wf = 777.83 \text{ N}$ $wf = 79.31 \text{ kg}$
Carga generada eje delantero.	
Distribución de masa eje delantero: 40%	$w_t = (m \times 0.4 \times 1.33) + (wf \times 1.5)$ $w_t = (293 \times 0.4 \times 1.33) + (79.31 \times 1.5)$ $w_t = 274.84 \text{ kg}$
Transferencia de masa en curva	
$a_n =$ Aceleración normal (m/s^2) $v^2 =$ Velocidad (m/s) Se considera una curva de 40 m de radio y una velocidad de 50km/h.	$a_n = \frac{v^2}{\rho}$ $a_n = \frac{13.88^2}{40}$ $a_n = 4.81 \text{ m/s}^2$
Masa durante la curva	
$a_n =$ Aceleración normal (m/s^2) $m =$ Masa total (kg) $h =$ Altura centro de gravedad (m) $b =$ Ancho de vía (m)	$w_t = \frac{a_n \times m \times h}{b}$ $w_t = \frac{4.81 \times 293 \times 0.5}{1.2}$ $w_t = 587.22 \text{ N}$ $w_t = 59.87 \text{ kg}$
Transferencia de carga eje posterior.	
59.87 kg	100%
X	$0\% = \frac{59.87 \times 60}{100} = 35.82 \text{ kg}$

Transferencia de masa a cada rueda	
Distribución de masa 60%	$w_t = (m \times 0.4 \times 1.33) + \pm(wf \times 1.5)$ $w_t = (293 \times 0.4 \times 1.33)$ $\pm (35.52 \times 1.5)$ $w_t = 170.78 N$
Cálculo de esfuerzos mesa delantera y posterior	
Mesa superior delantera	$m1 = w \times g$ $m1 = 137 \times 9.8$ $m1 = 1346.7N$
Mesa inferior posterior	$m2 = w \times g$ $m2 = 137 \times 9.8$ $m2 = 1346.7N$ $m2 = w \text{ reposo} \times g$ $m2 = 58.6 \times 9.8$ $m2 = 574.28 N$
Mesa superior posterior	$m3 = w \times g$ $m3 = 170.78 \times 9.8$ $m3 = 1673.6 N$ $m3 = w \text{ reposo} \times g$ $m3 = 87.9 \times 9.8$ $m3 = 861.42 N$ $m3 = w_{\text{motor}} \times g$ $m3 = 690.90 \times 9.8$ $m3 = 1036.36 N$
Mesa inferior posterior	$m4 = w \times g$ $m4 = 137 \times 9.8$ $m4 = 1346.7N$ $m4 = w \text{ reposo} \times g$ $m4 = 87.9 \times 9.8$ $m4 = 861.42 N$ $m4 = w_{\text{motor}} \times g$ $m4 = 690.90 \times 9.8$ $m4 = 1036.36 N$